

MÁSTER ARQUITECTURA Y URBANISMO SOSTENIBLE 2011 – 2012 [Universidad Alicante]

TRABAJO FINAL DE MÁSTER (13 Julio 2012)

Estrategias de prognosis ante la posibilidad de una isla (Kavachi, Islas Salomón)

Tutor: Joaquín Alvado Bañón. Doctor Arquitecto

Alumno: Juan María Sarrió García. Arquitecto

*... a Rosa, por ser la única
isla que no se encuentra
en ningún mapa...*

*... a CElia, por confiar en
mí y ser como eres...*

00_ RESUMEN/ABSTRACT	pág. 01
01_ INTRODUCCIÓN	pág. 03
02_ JUSTIFICACIÓN	pág. 09
03_ ANTECEDENTES	pág. 13
03.1_ ANTECEDENTES FÍSICOS	pág. 13
03.2_ ANTECEDENTES PROYECTUALES	pág. 15
04_ OBJETIVOS	pág. 29
04.1_ FASE A	pág. 29
04.2_ FASE B	pág. 30
05_ METODOLOGÍA	pág. 31
06_ CONTENIDOS	pág. 35
07_ RESULTADOS	pág. 45
08_ CONCLUSIONES	pág. 65
09_ FUENTES DE INFORMACIÓN	pág. 68
10_ BIBLIOGRAFÍA	pág. 69
11_ ANEXO DE FIGURAS	pág. 72
12_ REFERENCIAS DE FIGURAS	pág. 89

*La construcción más estable es la que no existe o la
que ya se ha derrumbado... En principio, todo
edificio es inestable; toda arquitectura trata de
hacer temporalmente estable lo que en principio
es inestable.*

[Frei Otto]

00_ RESUMEN

Para un arquitecto, la posibilidad de asistir en primera persona a la creación de un nuevo territorio natural, tiene que ser más que una quimera; un sueño que ni siquiera pasaría por su imaginación en sus primeros cursos de Proyectos en la Escuela, y sin embargo en la actualidad, el volcán Kavachi, perdido en el suroeste del océano Pacífico nos brinda esta oportunidad única.

Gracias al vertiginoso avance tecnológico actual, podemos plantearnos establecer una relación simbiótica con la propia Naturaleza, colaborando en el *nacimiento* de esta isla. Para alcanzar esta meta, disponemos de los últimos adelantos en el campo del Diseño Paramétrico que nos permitiría romper con el paradigma Mecanicista, adentrándonos en el campo de la Termodinámica moderna. Al introducir conceptos como inestabilidad e incertidumbre, admitimos que el factor *tiempo* es fundamental en cualquier fenómeno natural.

Acontecimientos recientes, como el descubrimiento científico del Bosón de Higgs, la partícula elemental que explica el origen de todo el universo, tienen que repercutir en nuevos modelos proyectuales arquitectónicos, dando lugar a formas y sistemas emergentes relacionados con esta nueva concepción del mundo. Es fundamental incorporar dentro de nuestros procesos de prognosis, conceptos que asuman la complejidad de la realidad del mundo que nos rodea.

00_ ABSTRACT

As an architect, being able to witness in first hand to the creation of a new natural territory is much more than an experience. It is the wildest dream since the first years of studies in the Architecture School Projects. The Kavachi volcano, almost hidden in the southeast Pacific area, gives us all the opportunity to make this dream become true.

Thanks to major advances in technology, we can nowadays consider establishing a symbiotic relationship with Nature itself, and cooperate in the process of "giving birth" to such an island. In order to succeed, we can make use of the latest state of the art advances in Parametric Design, which enables us to distance ourselves from the Mechanistic Paradigms and into the field of modern Thermodynamics. By introducing concepts such as instability and uncertainty, we also admit that time is essential to every natural phenomenon.

Certain recent happenings, like the discovery of the Higgs Boson, the elemental particle that explains the origin of the whole Universe, will have an impact on the new architecture projectural models, thus creating new shapes and emerging systems in relation to this new concept of the world. It will be essential to incorporate concepts that assume the complexity of the reality of the world surrounding us to the prognosis processes.

01_ INTRODUCCIÓN

Uno... dos... tres... cuatro... cinco... tal vez, en los últimos cinco segundos un volcán submarino perdido en las aguas del suroeste del océano Pacífico, haya vuelto a emerger a la superficie por enésima vez. Se trata del volcán **Kavachi**¹, designado a veces como, "Horno de Kavachi", que está situado en una posición aislada al sur de la isla de Vangunu (Islas Salomón, Oceanía) y a unos 30 kilómetros al norte de la placa Indo-Australiana. Las coordenadas geográficas de este volcán son: -9° 1' 0" Sur, 157° 57' 0" Este, y afortunadamente, está alejado de las principales rutas comerciales marítimas de esta zona del globo terrestre.

Se trata de uno de los volcanes submarinos visibles más activos del suroeste del Pacífico, ya que, desde **1939** se encuentra en un estado de erupción intermitente, hecho que ha propiciado que ya sean **nueve** las ocasiones en que este volcán ha emergido sobre las aguas en forma de isla, razón por la cual, los volcanólogos se refieren a este volcán como **la isla que no se decide a nacer**. La última aparición data de 2003 cuando la incipiente isla llegó a alcanzar los 15 metros de altura. Las últimas batimetrías realizadas por el buque Csiro Franklin (2002), determinaban que este volcán poseía un diámetro, en su base², de unos 8 kilómetros y su cráter se localizaría a unos 20 metros bajo el nivel del mar.

Para esbozar el inicio de esta investigación, se parte con la idea de tejer una **red de expertos**³ en Volcanología que sirviera como apoyo científico al planteamiento de este proyecto de investigación. Para esta cuestión, y aprovechando la celebración en la Universidad de Alicante de las II Jornadas Científicas en Ciencias de la Tierra (1-2 Marzo 2012) se establece contacto con los conferenciantes, explicándoles detenidamente mi condición de joven arquitecto interesado en temas volcanológicos como proyección para un posterior Trabajo Final de Máster. El intercambio de información con los volcanólogos ha sido fundamental para reorientar el objeto de estudio de investigación, ya que en un principio, el volcán que se creía adecuado, fue el que entró en erupción al sur de

¹ Ver Figuras 1 y 2.

² Se determinó que la base del volcán se encontraba a unos 1100 m de profundidad, aproximadamente. Todos estos datos batimétricos son del 2002, por lo que es totalmente plausible, que en la actualidad, el edificio volcánico de Kavachi sea más elevado y estable.

³ Los expertos vulcanólogos **Francisco José Pérez Torrado**, **Juan Carlos Carracedo Gómez** y **Alejandro Rodríguez González** cuentan con un reconocido prestigio por sus investigaciones para el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y en el grupo de investigación "Geología de Terrenos Volcánicos" (GEOVOL) perteneciente a la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

la isla canaria de **El Hierro**⁴ a finales de 2011, siendo los anteriores expertos, los que recondujeron el objeto de este trabajo hacia el volcán de Kavachi, próximo a las Islas Salomón.

Debido a la implacable presión urbanística⁵ que estrangula nuestros territorios (con especial hincapié en los territorios litorales) y considerando este emergente hallazgo⁶ en mitad del océano Pacífico, un arquitecto podría plantearse la situación de poder asistir, en primera fila, a la creación de un nuevo territorio, gracias a las fuerzas internas de nuestro planeta. Es evidente que la Naturaleza ha sido, es y será, la mejor arquitecta de todos los tiempos, ella se ha encargado de modificar a lo largo de miles de millones de años, la faz de la Tierra que ahora nosotros contemplamos. Los humanos tan sólo somos meros espectadores de su trabajo, pero contamos hoy en día con el nivel de tecnología y conocimiento suficiente para poder plantearnos establecer una colaboración simbiótica con ella.

Esto no quiere decir que se apueste por la transformación de este incipiente territorio en un cancerígeno complejo turístico con el logotipo del tour operador de turno en los pantalanés de su marina deportiva. Se trataría de disponer de una oportunidad única e irrepetible de intentar aprender de las atrocidades urbanísticas que hemos perpetrado, a lo largo del último siglo, como arquitectos, y además, como consumidores masivos de territorio en las franjas litorales de todo el mundo, especialmente en los territorios, que históricamente, más se han caracterizado por su condición de polo atractor de las actividades turísticas de "sol y playa".

Para nosotros, arquitectos, sería una oportunidad sin precedentes para poder imaginar⁷, para poder trabajar mano a mano con la Naturaleza desde el origen del

⁴ Según las noticias de los últimos días (24 Junio - 6 de Julio de 2012), el volcán de La Restinga (El Hierro, Islas Canarias) está volviendo a reactivar su episodio volcánico que vivió a principios de este año. Los expertos volcanólogos, que tienen en sus manos las últimas informaciones del Instituto Geográfico Nacional (IGN), afirman que existe la posibilidad de un nuevo proceso eruptivo, casi con toda seguridad, de nuevo bajo las aguas próximas a La Restinga. [... *tal vez, no es necesario irse hasta las Islas Salomón para presenciar el nacimiento de una isla en directo, como ya se pensaba al comienzo de este trabajo de investigación...*].

⁵ "Hemos asistido a lo largo del siglo XX a un cambio cualitativo de incalculables consecuencias. De los 1300 millones de habitantes de comienzos de siglo, se ha pasado a 5500 a finales del XX. De esta población, en 1900 sólo el 10% vivía en ciudades; en el 2000, la población urbana superaba el 50%." (Jarauta, 2003, 15).

⁶ Se considera esta situación como única para un arquitecto, debido a nuestra concepción de la figura del arquitecto como una persona que responde con acciones/ideas a las diferentes situaciones que le exige tanto la sociedad como la propia naturaleza que le rodea.

⁷ "Imaginar es buscar relaciones entre dos ideas que, aparentemente, no tienen ninguna". (Corrección con Joaquín Alvado Bañón en la asignatura Proyectos Arquitectónicos I de la carrera de Arquitectura en la Universidad de Alicante, diciembre 2003).

nacimiento de esta emergente isla. Estaríamos en una situación inmejorable para poder contribuir en el propio modelado de este nuevo territorio, apoyándonos para ello, de las últimas tecnologías del mundo del Diseño Paramétrico aplicadas al campo de Proyectos Arquitectónicos. Estas herramientas nos permitirían incorporar en nuestras estrategias proyectuales, una gran cantidad de **parámetros** de información (incluso en tiempo real) que nos serían muy útiles para analizar la **forma** de crecimiento y la estabilidad⁸ de esta nueva isla en mitad del Pacífico, para evitar que vuelva a hundirse por la acción erosiva dinámica del oleaje y las mareas, y/o de la propia naturaleza destructiva de un episodio eruptivo.

Pitágoras ya afirmaba que todo lo que vemos a nuestro alrededor está basado en el lenguaje universal de las **matemáticas**. La forma de los astros, el crecimiento de las cosechas, los rasgos de los animales... cualquier suceso o elemento, en su base más elemental, es completamente explicable y demostrable mediante el apoyo de algoritmos matemáticos. Esta afirmación puede parecer, hoy en día, totalmente superada, pero pensemos que desde la Grecia Clásica, existía ya una preocupación sobre el concepto de forma y su correspondiente relación con las matemáticas.

A lo largo de la Historia, no sólo Pitágoras se interesó por este tema, hubo infinidad de investigadores y pensadores que posteriormente trabajaron para intentar evidenciar de manera unívoca, la relación entre el mundo de las formas y el de las matemáticas. Sin embargo, todos ellos fracasaron (en mayor o menor medida) debido a que el desarrollo matemático y tecnológico, de sus respectivas épocas, no estaba en sintonía con sus estudios metafísicos procedentes de la observación minuciosa de la realidad que les rodeaba.

Hoy en día, gracias al vertiginoso avance en los campos científicos, tenemos como nuestros aliados a una legión de software y de potencia de cálculo que nos permiten, con casi cualquier ordenador doméstico, realizar complejísimas

"Imaginación es la retención de lo ausente, la fantasía es su reelaboración. Como quiera que la reelaboración es más tendente a la falibilidad que la retención, la fantasía se inclina hacia lo irreal más que la imaginación". (Ferraris, 1999, 11).

⁸ *"La arquitectura tiene que ver con técnicas de formación y estabilización, mientras que el urbanismo se caracteriza por interacciones más difusas y transitorias entre movimientos superpuestos, flujos, densidades e intensidades. Las cualidades de la arquitectura son principalmente las de la forma singular, mientras que las cualidades urbanas se identifican con gradientes dentro de campos. La arquitectura puntúa estos campos de gradientes con la estabilidad.*

El uso del término 'estabilidad' es intencionado, como sustituto de 'estaticidad'. La estabilidad puede conseguirse dentro de un complejo de fuerzas interactivas a través del movimiento rítmico y de la fluctuación; mientras que la estaticidad implica un inactivo intemporal, la estabilidad implica una persistencia dinámica. La arquitectura no necesita ser estática para persistir." (Ortega, 2009, 110).

simulaciones sobre la realidad que queremos estudiar. Estas simulaciones son capaces de tener en consideración infinidad de parámetros y algoritmos, lo que les permite ofrecernos una visión virtual/real sobre la realidad que nos interesa.

No es casualidad que ilustres personajes de la talla de **Alan Turing** y **Von Neumann**, ambos pioneros en el desarrollo del campo de la computación, estuvieran muy interesados en la Morfología y en la simulación de procesos morfológicos mediante modelos matemáticos informatizados.

Como señala John Frazer:

"La hipótesis de Church/Turing afirmaba que la Máquina de Turing podría reproducir no sólo las funciones de las máquinas de cálculo, sino también las de la naturaleza. Von Neumann, la otra figura clave en el desarrollo del ordenador, se propuso explícitamente crear una teoría que incluyera tanto las biología naturales como las artificiales, partiendo de la premisa de que la información era la base de la vida"⁹ ...

Aquí aparece una cuestión que persigue a la Arquitectura desde prácticamente sus orígenes. **Naturaleza vs. Artificio**. Desde las primeras cavernas neolíticas, la acción constructora del hombre ha significado un hito en el paisaje continuo y dinámico que va construyendo la Naturaleza desde el origen de este planeta, día a día, segundo a segundo... Sin embargo, la dicotomía entre estos dos gigantes ideológicos, no va a ser objeto de análisis en este estudio, tan sólo se ha traído a colación para evidenciar que el problema de la Forma tiene raíces en todas y cada una de las ramas que componen el concepto global de Arquitectura¹⁰.

Hoy en día no tiene sentido seguir diseñando construcciones con los mismos métodos de cálculo científicos que se hace desde hace siglos. No tiene sentido reducir la complejidad del mundo natural que nos rodea, compuesta por flujos energéticos, teorías de campos dinámicos,... a un modelo reducido y abstracto,

⁹ (Ortega, 2009, 29).

¹⁰ Si nos abstraemos, ¿No es crear una forma, el principal problema que tiene cualquier arquitecto a la hora de plasmar sus ideas en un proyecto? Esa forma responderá (o no) a las funciones que se desarrollen en su interior, a los materiales o técnicas constructivas con las que se va a trabajar, a la corriente artística de la época... a infinidad de condicionantes... Sin embargo, al final de todo, como ya nos enseñó Platón, sólo podemos atisbar entre las sombras de lo material, la verdad que encierra el mundo intangible de las Ideas, en este caso, la Forma.

donde reducimos la realidad a su esencia para poder comprenderla con unas herramientas arcaicas.

En definitiva, tenemos que dejar de ver el mundo que nos rodea con las gafas del paradigma mecanicista y empezar a analizar en profundidad la termodinámica moderna. Sin embargo, este cambio de mentalidad no es nada fácil.

Como señala Luis Fernández-Galiano:

“La tarea de socavar los fundamentos del mundo newtoniano no ha sido, desde luego, sencilla. Thomas Kuhn ha descrito la extraordinaria inercia y resistencia al cambio de los paradigmas científicos, que sólo abandonan la escena como resultado de auténticas catástrofes interpretativas y predictivas, y este caso no ha sido una excepción. Además, existe la dificultad añadida de que, como señalan Prigogine y Stengers¹¹, “la crítica kantiana ha identificado el objeto científico en general con el objeto newtoniano; ha definido de esta forma como imposible una oposición al mecanismo que no sea oposición a la propia ciencia... Kant elabora así filosóficamente... el discurso mítico de la ciencia moderna”.”.¹²

Greg Lynn critica ferozmente el por qué la arquitectura, tal vez desde sus orígenes, se ha limitado exclusivamente a representar la **Estática**, llamando la atención a los arquitectos para que tomen en cuenta todos los parámetros (visibles e invisibles) que configuran las relaciones que aparecen en nuestras ciudades:

“La arquitectura sea tal vez la última disciplina que utiliza el cartesianismo, no sólo por su conveniente sencillez sino también (y esto es más censurable) porque se aferra a una fe reaccionaria en la ética de la estática. La arquitectura es el último refugio para los miembros del club de “la tierra es plana”, cuya ingenua idea de una gravedad uniforme que emana de la tierra se traslada, sin análisis crítico, a unos modelos estáticos simples de verticalidad y ortogonalidad espacial.

¹¹ Prigogine, Ilya y Stengers, Isabelle (1979). *La nouvelle Alliance*. París: Gallimard. 97-98.

¹² (Fernández-Galiano, 1991, 56).

Si los arquitectos pretenden participar en las fuerzas dinámicas, a menudo inmateriales, que conforman la ciudad contemporánea, deberían asumir tanto una ética, como una práctica de la movilidad, lo que incluye comprender que los modelos clásicos de formas y estructuras puras, estáticas, esencializadas e intemporales, ya no son adecuados para describir la ciudad contemporánea y las actividades que soporta."

"Movilidad y estaticidad no son ideas nuevas, sin embargo es difícil, complejo e incómodo concebir una forma en movimiento con escuadra y cartabón. Los arquitectos son fundamentalmente simplistas en sus técnicas, de modo que la escuadra y el cartabón producen un tipo específico de simplicidad arquitectónica."¹³

¹³ (Ortega, 2009, 107-108).

02_ JUSTIFICACIÓN

Una vez esbozado el planteamiento general de este análisis de investigación es pertinente esbozar sus cualidades arquitectónicas. Es decir, evidenciar en qué se diferenciaría este trabajo si su autor no fuera un arquitecto, si no, un volcanólogo o un genetista...

La aportación arquitectónica del presente trabajo de investigación tiene sus raíces en el eterno problema que lleva arrastrando la Arquitectura durante siglos, el problema del origen de la **forma**, en este caso, la forma de esta isla emergente. El novedoso interés que tiene esta investigación radica en plantearnos, cómo podríamos colaborar con la Naturaleza para que, de una vez por todas, asistiéramos al *nacimiento* definitivo de esta nueva isla. Esta acción podría realizarse gracias al uso de nuevas **tecnologías paramétricas** para poder efectuar simulaciones informáticas que nos permitirían tener un control exhaustivo de la progresión del crecimiento de este territorio natural en mitad del océano Pacífico. Y de esta forma poder reforzar la estabilidad del edificio volcánico cuándo y dónde las simulaciones lo indiquen preciso, evitando así el enésimo hundimiento de la isla.

Al realizar esta acción estaremos en una inmejorable situación para plantearnos cómo se podría colonizar este nuevo territorio emergido del mar, mientras seguimos controlando su crecimiento y estabilidad. Esta cuestión sería una de las varias proyecciones de futuro desarrollo que podría tener este trabajo de investigación, e incluso podría ser muy interesante como continuación hacia una tesis doctoral dentro del área de conocimiento de Proyectos Arquitectónicos.

Tal vez, esta acción proyectual se puede considerar una **utopía**¹⁴, pero no se encuentra muy alejada de propuestas arquitectónicas de anteriores corrientes como el manifiesto de "L'Architecture mobile" de **Yona Friedman** (1958), la "Floating City" (o "Chemical City") de **William Katavolos** (1959), las visiones metabolistas japonesas, donde destacamos la "Marine City" de **Kiyoynori Kikutake** (1958-1960), la "Walking City" de **Archigram** (1964-1972), o la Metaciudad de **Richard Dietrich** (1969).

Respecto a la discusión arquitectónica de la forma, se han vertido océanos de tinta debatiendo sobre esta cuestión, desde el análisis arquitectónico de las

¹⁴ Tal vez para algunos sea una postura extremadamente utópica, pero si la analizamos un momento, no es más peligrosa que las agresivas estrategias de ocupación del territorio que hacen los resorts hoteleros en islas con un pasado volcánico muy reciente como es el caso de la isla griega de Santorini.

formas platónicas, pasando por las teorías de los arquitectos modernos y funcionalistas, hasta las estrategias actuales de biomimetismo y genética de Xefirotarch¹⁵. Actualmente, y gracias a las nuevas y potentes herramientas que nos facilita el diseño paramétrico, se considera pertinente realizar una revisión del concepto de forma¹⁶ en la arquitectura contemporánea. De esta forma, podríamos arrojar algo de luz sobre los oscuros senderos formalistas por donde se mueven las nuevas generaciones de arquitectos-programadores que empiezan a salir de las Escuelas de arquitectura hoy en día.

Tras la irrupción masiva, hace ya unas décadas, de los sistemas de dibujo asistido por ordenador (CAD) en los estudios y en las Escuelas de arquitectura de todo el mundo, se está produciendo una dicotomía ideológica entre los arquitectos y estudiantes, que a la hora de plantearse realizar un proyecto arquitectónico, se vuelcan en la realidad¹⁷ cercana que le ofrece la ciudad y el urbanismo contemporáneo, es decir, buscan respuestas a sus preguntas **en el exterior**; y aquellos arquitectos que orientan sus estrategias proyectuales **hacia el interior**, hacia técnicas más instrumentales e ideas operativas como pueden ser las nuevas herramientas de fabricación digital y de diseño paramétrico.

Brett Steele¹⁸ los divide en **Diagramáticos** y **Procesuales**¹⁹. Los Diagramáticos se caracterizan por estar siempre viajando (aunque sea a través de Google Earth), estudiando la ciudad contemporánea y cuanto más exóticos sean los destinos o los datos obtenidos, mucho mejor. Después, vuelven, compilan sus extensas bases de datos para generar infinitas estadísticas y publicar infinidad de libros. Esta experiencia les sirve a estos arquitectos para generar conocimiento y, según nos dicen ellos, facilitar la labor del arquitecto si alguna vez se ve en la situación de construir en aquellos exóticos destinos. Buscan la mínima opción de demostrarnos

¹⁵ Xefirotarch es un estudio de arquitectura con sede en Los Ángeles (EE.UU) dirigido por **Hernán Díaz Alonso**, arquitecto mundialmente reconocido por sus proyectos con formas xenofórmes exuberantes que bien podrían formar parte de la arquitectura presente en películas como Alien.

(Consultado el 19 de Abril de 2012 en <http://www.xefirotarch.com/>).

¹⁶ Este trabajo de investigación no tiene como objetivo realizar un exhaustivo estudio de las peripecias del concepto de Forma a lo largo de toda la Historia de la Arquitectura, pero sí que resulta necesario aclarar el posicionamiento formal que, de aquí en adelante, se intentará plasmar en esta investigación.

¹⁷ También buscan referencias en ciudades a miles de kilómetros de ellos, ya que pueden analizarlas a sólo unos cuantos clics de ratón.

¹⁸ Brett Steele es el actual director de la Architectural Association School of Architecture of London (más conocida como AA). También es el fundador y ex director de su Laboratorio de Investigación en Diseño (AADRL).

¹⁹ (Ortega, 2009, 87-90).

que el Urbanismo siempre es algo nuevo e inesperado y lo hacen, no sólo para explicárnoslo, sino para reforzar sus carreras²⁰ arquitectónicas académicas.

En el otro lado, los Procesuales, son como *ratas de laboratorio*, prácticamente la única luz que ven es la de sus flexos y sus pantallas tintineantes de ordenador. Cuando alguien les habla de Hong Kong o similar, ellos sólo piensan que podría ser el lugar perfecto para encontrar esos sensores de ultrasonidos baratos que tanto necesitan para su última maqueta cinética. Pasan las noches realizando tutoriales de Maya o Rhinoceros, mientras están pendientes de los últimos comentarios en los foros de Processing o Arduino (o en grupos de Facebook), para solucionar éste o aquél problema de programación que les tiene con el alma en vilo.

Como afirma Steele:

*"Si a los diagramáticos se les puede ver atentos al ambiente inspirado en las Vegas de la película Oceans's eleven de Steven Soderbergh, la única música que escuchan los procesuales es el ruido de la cortadora estereolitográfica. Mientras que los diagramáticos adoran el **contexto** (sin jamás utilizar esa palabra), los procesuales viven para el **proceso de diseño** (sin explicar nunca qué significa en realidad). El "contexto" de sus proyectos son los propios procesos de diseño; y cuanto más maquinales, mejor."*²¹

La Postmodernidad y, dentro de ella, el Deconstructivismo, durante sus treinta años de búsqueda estilística formal, allanaron el camino para la aparición del **Parametricismo**²² que se ha consolidado entre las corrientes arquitectónicas de finales del s. XX y principios del s. XXI. Este movimiento arquitectónico aboga por que el concepto de **diseño paramétrico** se instaure en todos los campos del diseño, desde la planificación de las ciudades hasta el mobiliario interior de las viviendas.

Las formas, como todas las modas, vuelven con los años, son como ondas cuya frecuencia, amplitud y periodo se sincronizan para que, tras determinados

²⁰ Robert Venturi en las Vegas, Rem Koolhaas en Nueva York, Colin Rowe en Roma, Banham en Los Ángeles, o el propio Le Corbusier en Oriente... todos adquirieron cierto prestigio tras sus viajes, y sus publicaciones siguen siendo los iconos de una Modernidad desfasada.

²¹ (Ortega, 2009, 87-90).

²² Fue **Patrik Schumacher** quien bautizó a este movimiento con el nombre de Parametricismo en el Club Dark Side, que se celebró durante la 11ª Bienal de Venecia en 2008.

periodos históricos, vuelvan a aparecer con energías renovadas. Por ello, parece lógico que tras las experiencias del Deconstructivismo, que llegaron hasta los primeros años de los 90 y que se basaban en **ángulos** fracturados y discontinuos, apareciera el Parametricismo apostando por las superficies **curvas** y dinámicas. Es este cambio en la forma de pensar la Arquitectura, el que genera un espectacular desarrollo de los programas de diseño asistido por ordenador, para brindar las herramientas que requieren los arquitectos para puedan representar con extremada exactitud sus complejas geometrías.

En este mundo hipertecnificado de hoy en día, nuestras necesidades son cada vez más complejas, por lo que plantearlas siguiendo un análisis paramétrico parece la única posibilidad para poder satisfacerlas. Es aquí donde aparece una de las características más importantes del Parametricismo, la necesidad de una innovación y unos avances tecnológicos que nos permitan acercar el mundo de la Arquitectura a las preocupaciones que tiene la sociedad donde se va a insertar.

El desarrollo de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (**TIC**), el avance en la investigación de nuevos software (o plugins para esos software) como: Rhinoceros (Grasshopper²³, Kangaroo, gHowl, Firefly,...), Maya, CATIA,... y el empleo de maquinaria CNC e impresoras 3D para poder construir esas formas orgánicas, e incluso robots²⁴ (KUKA), en definitiva, la total implementación del mundo (o ciber mundo) de los ordenadores en la Arquitectura, es fundamental para proporcionar a los arquitectos las herramientas necesarias a la hora de intentar comprender la realidad que nos rodea, de la misma forma que Platón o Aristóteles soñaban en sus discursos metafísicos en su época.

Los conceptos sobre los que se asienta el Parametricismo tratan sobre la hibridación, la desterritorialización, y, ante todo, su obsesión por el **Formalismo**. Es imprescindible cambiar el modo de proyectar, programar una definición de Grasshopper para definir una geometría, antes que modelarla (o esculpir) como se hacía antaño. Los Parametricistas se interesan mucho más por los **procesos**²⁵ que producen una cierta arquitectura, que por las estrategias diagramáticas que pueden llegar a definir la arquitectura.

²³ Grasshopper es un editor paramétrico para el software Rhinoceros. Aquí se puede encontrar información de los últimos plugins y scripts paramétricos aplicados en el mundo de la Arquitectura. (Consultado el 12 de abril de 2012 en <http://www.grasshopper3d.com>).

²⁴ Robots: the future of building?
(Consultado el 10 de abril de 2012 en <http://www.youtube.com/watch?v=myJ1ihbZZWM>).

²⁵ (Ortega, 2009, 29-38).

03_ ANTECEDENTES

Debido a la originalidad y complejidad del tema elegido para desarrollar para este Trabajo Final de Máster, no ha sido tarea fácil encontrar bibliografía o recursos de información acordes con el planteamiento de la investigación. Sin embargo, la ayuda de los expertos volcanólogos de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria y algunos amigos²⁶ que, actualmente, están estudiando sus respectivos Másteres sobre Proyectos Avanzados o Arquitectura Biodigital en la Architectural Association (**AA**) de Londres, en el Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluña (**IAAC**) de Barcelona y en el Graduate School of Design (**GSD**) de Harvard, ha sido fundamental a la hora de poder realizar un buen acopio de información de calidad que poder analizar y aplicar en la elaboración de este proyecto de investigación.

Para poder afrontar el tema de estudio de este trabajo de investigación, se ha considerado oportuno dividir los antecedentes entre **físicos** y **proyectuales**. Esta división nos permitirá analizar la información desde una perspectiva multifocal y, al mismo tiempo, nos será útil para no mezclar conceptos procedentes de diferentes campos del conocimiento.

03.1_ ANTECEDENTES FÍSICOS

A finales de agosto de 1957, se inició una crisis sísmica en el océano Atlántico, frente a **Capelinhos**, una pequeña localidad costera situada en el extremo oriental de Faial, una de las islas del archipiélago de las Azores (Portugal). Esta crisis sísmica alcanzó su punto álgido entre el 16 y el 27 de septiembre de 1958, contabilizándose más de 200 terremotos de magnitudes comprendidas entre 3.5 y 4.9 en la escala Richter, e intensidad hasta el nivel V/VI en la escala de Mercalli.

Fue un pescador el que observó, el 27 de septiembre, la primera manifestación de actividad volcánica de Capelinhos, la aparición de una zona de turbulencias, donde el agua parecía hervir a fuego lento en la superficie del océano, a unos 600 metros de la costa occidental de Faial. Esta mancha clara sobre la superficie del agua estaba generada por la ascensión del gas liberado a través del fondo oceánico en esta zona.

²⁶ Gran parte de la información y recursos proyectuales que se ha utilizado en esta investigación, tiene su base en las relaciones establecidas a partir de la red social **Facebook**. Gracias a esta iniciativa, se ha podido establecer contacto con profesores y estudiantes de algunos de los másteres más prestigiosos del mundo especializados en Proyectos Avanzados de Arquitectura y Diseño Generativo y Paramétrico.

El 29 de septiembre el volcán alcanzó la superficie del mar, lanzando una enorme columna de ceniza negra volcánica a una altitud de 4 kilómetros y con un diámetro de 300 metros. Dos días más tarde, ya se podría apreciar una pequeña isla²⁷ con un cráter de 500 metros de diámetro.

En días posteriores se observó cómo emergían tres pequeños islotes que fueron creciendo paulatinamente hasta fusionarse en una pequeña isla²⁸ en forma de herradura situada a unos 400 metros de la costa, llegando rápidamente a alcanzar los 600 metros de diámetro y 80 metros de altura. Aunque, tras una gran explosión, el 24 de octubre la isla quedó prácticamente destruida, motivo que provocó su hundimiento unos días después.

Después de una leve pausa, el 5 de noviembre, la erupción se reactivó y se formó una nueva isla, esta vez, ya definitivamente estable sobre la superficie del océano Atlántico. Posteriormente, el 12 de noviembre, se consolidó un istmo que conectaría este nuevo territorio con la isla de Faial. La actividad eruptiva llegó a su clímax durante la primera quincena de diciembre, cuando el cono volcánico se acercó a los 800 metros de diámetro y 99 metros de altura.

Marcada por el hundimiento y la mejora del cono volcánico, de enero a abril de 1958, la actividad continuó bajo el agua y produjo, en muchos casos, nubes cipresoides, típicas de este tipo de erupción hidromagmática. La capa de ceniza cubrió con varios metros de espesor la península y zonas adyacentes de Capelinhos, enterrando y destruyendo casas e infraestructuras agrícolas. Después de una violenta crisis sísmica, en la noche del 12 al 13 de mayo, se registraron más de 450 terremotos y se produjeron profundos reajustes en el cuerpo del edificio volcánico y tectónico.

El 14 de mayo, la erupción paso a considerarse **estromboliana**²⁹ y continuó

²⁷ (Araña, 1984, 346).

²⁸ Esta pequeña isla recibirá los nombres de "Ilha Nova", "Ilha dos Capelinhos" e "Ilha do Espírito Santo. Ver Figura 3.

²⁹ Este tipo de erupción volcánica hace referencia al volcán **Stromboli**, en las islas Eolias, un pequeño archipiélago cerca de la isla de Sicilia (Italia). Como afirma **Araña y Ortiz**:

"Desde hace siglos, la permanente actividad del Stromboli se caracteriza por pequeñas explosiones que se suceden cada pocos minutos, acompañadas esporádicamente por breves derrames lávicos. Las explosiones son provocadas por las burbujas de gas que se escapan del magma en zonas relativamente profundas y aumentan de volumen al alcanzar el techo de la columna magmática, a niveles superficiales." (Araña y Ortiz, 1984,171).

hasta el 24 de octubre 1958, principalmente con la emisión de lava **pahoehoe**³⁰ que poco a poco construyó un nuevo cono ³¹ volcánico. Desde entonces, la desgasificación, la refrigeración y la erosión, propiciaron que el edificio volcánico perdiese la mitad de su área de 2,4 kilómetros cuadrados, tras la liberación de 85 millones metros cúbicos de materiales emitidos³².

Según la mayoría de los expertos consultados, debido a la escasa profundidad a la que se encuentra el volcán Kavachi, es muy plausible que pudiera seguir los mismos pasos que se dieron en Capelinhos, por lo que es totalmente pertinente analizar, tanto la cronología ³³ de sus episodios volcánicos hidromagmáticos, como el resultado de sus procesos morfológicos naturales. También habría que tener en cuenta la composición química del material piroclástico arrojado por el volcán y la presencia (o no) de gases embebidos en las coladas lávicas, el porcentaje de SiO₂ presente en el magma,... , ya que son datos cruciales para realizar simulaciones sobre la viscosidad del magma, la forma de las coladas de lava, etc...

03.2_ ANTECEDENTES PROYECTUALES

En anteriores apartados, ya se han comentado algunos de los principios del Parametricismo, una de las vanguardias arquitectónicas más influyente de los últimos años, cuyos planteamientos formalistas aparecen reflejados en el desarrollo de este trabajo de investigación. Sin embargo, como en cualquier área de conocimiento, *nada surge de la nada, todo tiene unos orígenes*, y basta remontarse a las primeras críticas que se plantearon hacia el Racionalismo y el Funcionalismo para encontrarlos. Estas críticas estaban dirigidas, en gran medida, por multitud de arquitectos y teóricos que militaban dentro de diferentes movimientos culturales como el Surrealismo, el Informalismo o el Situacionismo.

³⁰“Las superficies lisas, implican en principio una gran fluidez y elevada temperatura, sin que la desgasificación sea importante antes de que la corriente se detenga o remanse. Estas superficies son características de los lagos de lava y de las delgadas corrientes de lavas basálticas que discurren sobre terrenos llanos, a gran velocidad y conservando sus elevadas temperaturas hasta grandes distancias del centro emisor. Este tipo de superficie negra, brillante, con numerosos poros subredondeados, que indican una desgasificación tardía. Se denominan genéricamente lavas lisas, aunque cada vez son más conocidas por el nombre hawaiano de **pahoehoe**, que refleja la facilidad de caminar, incluso descalzos, sobre estas superficies.”(Araña y Ortiz, 1984,143).

³¹ Ver Figura 5.

³² (Araña y Ortiz, 1984, 345).

³³ Ver Figura 4.

Para mostrar las bases de partida proyectuales de este trabajo de investigación, se procede a continuación a detallar las posiciones intelectuales de los pensadores más influyentes de sus épocas.

FREDERICK KIESLER: Arquitectura mágica (1947)

Kiesler criticaba la rigidez compositiva del Funcionalismo y su falta de miras hacia una alianza entre las diferentes artes para dar solución a la arquitectura de su época:

"El "funcionalismo moderno" en arquitectura está muerto. Hasta el punto en que la "función" fue una reliquia – sin un examen del Reino del Cuerpo sobre el que reposaba, siquiera – vino a caer en desgracia y se consumió en la mística higiene + esteticismo. (La Bauhaus, el sistema de Le Corbusier, etc.)."

"Me opongo al misticismo de la Higiene, que es la superstición de la "Arquitectura Funcional", las realidades de una Arquitectura Mágica radican en la totalidad del ser humano y no en las partes heridas o malditas de su ser".³⁴

HUNDERTWASSER: Manifiesto del Moho contra el Racionalismo en la Arquitectura (1958)

Friedrich Stowasser, más conocido como **Friedensreich Hundertwasser**, fue un ferviente crítico del protofuncionalista Adolf Loos, apoyándose en el automatismo surrealista y tachista³⁵, con la esperanza de llegar a unir las figuras de arquitecto, albañil e inquilino.

³⁴ (Marchán, 1974, 448). Ver Figuras 6 y 7.

³⁵ "El tachismo (en francés, Tachisme, derivado de la palabra francesa tache – mancha) fue un estilo de pintura abstracta francés desarrollado durante los años 1940 y 1950 acuñado por el crítico francés **Michel Tapié**. A menudo se le considera el equivalente europeo al expresionismo abstracto. Otros nombres de este movimiento son l'art informel (similar a la action painting) y abstraction lyrique (relacionado con la abstracción lírica estadounidense). Los artistas del Grupo **Cobra** y del japonés **Gutai** también están relacionados con el tachismo.

El Tachismo fue una reacción al cubismo y se caracteriza por una pincelada espontánea, goteos y manchas de pintura directamente provenientes del tubo, y a veces garabatos que recuerdan a la caligrafía."

(Consultado el 10 de Junio de 2012 en <http://bauhausinformalismo.wordpress.com/tachismo/>).

Hundertwasser apostaba por el hecho de que cualquier persona, sin necesidad de tener un diploma de arquitecto, tenga el derecho de poder construir y así poder tener conciencia propia de las cuatro paredes que él mismo ha levantado para guarecerse del mundo natural y artificial que le rodea, aceptando la posibilidad (bastante elevada) que esa "estructura" se pudiera venir abajo en cualquier momento.

Hundertwasser nos señalaba:

"La inhabitabilidad material de los barrios bajos ("slums") es preferible a la inhabitabilidad moral de la arquitectura funcional, utilitaria. En los llamados barrios bajos solamente puede perecer el cuerpo del hombre, pero en la arquitectura planeada ostensiblemente para el hombre, perece su alma. De aquí el principio de los barrios, p. ej., la proliferación agreste de la arquitectura debe ser fomentada y adoptada como punto de partida, en lugar de la arquitectura funcional.

*La arquitectura funcional ha demostrado ser un camino erróneo, como sería equivocado dibujar con una regla. Nos estamos acercando a grandes pasos hacia una arquitectura impracticable, inutilizable y, finalmente, inhabitable."*³⁶

Hundertwasser critica ferozmente al Funcionalismo, un posicionamiento arquitectónico frío, deshumanizado, aburrido, abstracto y difícil de entender por el público en general, que al fin y al cabo, serán los inquilinos de la arquitectura que propone.

Continuando el análisis de su **Manifiesto del Moho (1958)**, afirma:

"Es tiempo de que la gente se rebele contra el hecho de ser confinados en edificios como cajas, de la misma manera, que son confinados en jaulas los conejos y las gallinas, jaulas que son igualmente extrañas a sus naturalezas.

Una construcción a modo de jaula o edificación utilitaria es una casa que permanece ajena a las tres categorías de personas que tienen relación con ella.

³⁶ (Marchán, 1974, 450). Ver Figuras 8 y 9.

1. El arquitecto no tiene relación con el edificio.

Aún en el caso de ser el mayor de los genios arquitectónicos no puede prever qué clase de personas van a vivir en él. La llamada dimensión humana, en arquitectura, es una decepción criminal. Particularmente, cuando esta dimensión ha emanado de una evaluación media obtenida de una encuesta pública.

2. El albañil no tiene relación con el edificio.

Si, por ejemplo, quisiera levantar una pared un poco diferente, según sus ideas personales, si es que las tiene, se quedaría sin trabajo. Y de todos modos a él no le importa realmente el edificio, porque no va a vivir en él.

3. El ocupante no tiene relación con el edificio.

Porque no lo ha construido y se ha limitado a mudarse a él. Sus necesidades humanas, su espacio humano serán con seguridad completamente diferentes. Esto es un hecho constante aún en el caso de que el arquitecto y el albañil traten de construir exactamente de acuerdo con las instrucciones del inquilino y empresario."³⁷

Hundertwasser también critica la *purificación* de la arquitectura, haciendo referencia a la extinción de la Ornamentación; de todo lo que no sea absolutamente necesario, pero también, reflexionando sobre la forma en la que se **piensa/dibuja** la arquitectura Funcionalista, afirmando:

"La simple circunstancia de portar consigo una línea recta debería estar, al menos moralmente, prohibido. La regla es el símbolo de la nueva incultura. La regla es el símbolo de la nueva enfermedad de la decadencia."

"Hoy vivimos en un caos de líneas rectas, en una jungla de líneas rectas. Cualquiera que no crea esto no tiene sino que tomarse la molestia de contar las líneas rectas que hay en torno a él y comprenderá, porque nunca terminará de contar. Hemos de

³⁷ [Marchán, 1974, 451-452].

desarraigar esta jungla de líneas rectas que crecientemente nos aprisiona, como cautivos en la mazmorra."

"Hasta ahora el hombre se ha arrancado siempre a sí mismo de la jungla en que se encontraba y se ha liberado. Pero en primer lugar ha de llegar a tomar conciencia de que está viviendo en una jungla, porque esta jungla ha ido creciendo subrepticamente, de modo insensible para las gentes. Y esta vez es una jungla de líneas rectas.

*Cada arquitecto moderno en cuyo trabajo la regla o los compases hayan tenido alguna parte, aunque sólo haya sido por un segundo – y aún si solamente en el pensamiento –, debe ser rechazado. No hablemos del diseño, del tablero de dibujo o de la construcción de maquetas, que han llegado a ser algo no simplemente enfermizo y estéril, sino carente por completo de sentido. **La línea recta es impía e inmoral. La línea recta no es creativa, sino reproductiva**, como el amor a la comodidad de las masas sin seso del hormiguero.*

Estas estructuras hechas de líneas rectas y no importa cómo puedan encorvarse o torcerse, o estar suspendidas y, en la actualidad, perforadas, son insostenibles. Son el producto de una rutina nacida del miedo: los arquitectos constructivos tienen miedo de retornar antes de que sea demasiado tarde al tachismo, por ejemplo, a la inhabitabilidad."³⁸

Hundertwasser se apoya en los conceptos de **cambio** y de **procesos**, herramientas fundamentales para romper con el ideal gélido y calculador del Funcionalismo, dejando entrar nuevos aires renovados en el interior de la arquitectura y dando la posibilidad a sus inquilinos de poder experimentar cambios en sus interiores totalmente asépticos:

*"Cuando aparece la herrumbre en una hoja de afeitar, cuando la tierra forma una pared, cuando el musgo crece en la esquina de una habitación y **redondea los ángulos geométricos**, debemos sentirnos satisfechos de que con los microbios y los hongos la vida esté palpitando dentro de la casa y lleguemos más conscientemente que antes de ser testigos de los cambios arquitectónicos de que tenemos mucho que aprender."*

³⁸ La proclama formalista en contra de la línea recta de Hundertwasser está totalmente en consonancia con el principio Parametricista actual que aboga por las líneas curvas y dinámicas. (Marchán, 1974, 452-453).

*"Para salvar la arquitectura funcional de la ruina moral, debe ser arrojada sobre las claras paredes de cristal y las lisas superficies de cemento una preparación desintegradora para que el **moho** y el humus generativo puedan ajustarles las cuentas."*

"Y solamente después de que las cosas hayan sido creativamente cubiertas de moho, del que tenemos mucho que aprender, aparecerá una nueva y esplendente arquitectura."³⁹

WILLIAM KATAVOLOS: Orgánica (1960)

Katavolos, al igual que otros representantes de estos años, intentaba utilizar para imaginar sus proyectos arquitectónicos, conceptos y procesos que tenían sus orígenes en el mundo de la **Biología**. Él prestaba especial atención a los adelantos en el campo del conocimiento de la **Química**⁴⁰. Tampoco era ajeno al debate sobre la expresión gráfica arquitectónica de su época y apostaba por la superación de la línea recta y la investigación en las formas orgánicas presentes en la Naturaleza:

"La química nos abre caminos nuevos en la arquitectura; ya no se debe construir más a duras penas, sino posibilitar la arquitectura como acontecimiento. Hay un camino más allá de la construcción, del mismo modo que los principios de las ondas, parábolas y líneas de la plomada existen más allá de los medios en que se forman. Así la arquitectura debe liberarse de los modelos tradicionales y convertirse en orgánica."

Los nuevos descubrimientos en química han conducido a la producción de materiales líquidos y pulverulentos que, cuando son tratados convenientemente con ciertos agentes activadores, se expanden hasta alcanzar un gran tamaño y entonces catalizan y se han rígidos. Estamos alcanzando con rapidez el conocimiento preciso

³⁹ Sería muy interesante realizar un análisis entre la obra de Hundertwasser y **John Tyler Bonner**, Profesor Emérito de Biología de la Universidad de Princeton (EE.UU) que ha dedicado toda su carrera investigadora al estudio del mundo de los Hongos y el Moho. [Marchán, 1974, 453-455].

(Consultado el 12 de Junio de 2012 en <http://www.princeton.edu/main/news/archive/S26/40/89S11/index.xml?section=featured>).

⁴⁰ Katavolos estaba muy interesado en las prestaciones que podían ofrecer los nuevos materiales plásticos procedentes de los derivados del petróleo, y mejorar así los procesos constructivos de su época.

de la estructura molecular de estas sustancias químicas; lo que junto a las técnicas necesarias conducirá a la producción de materiales que tendrán un programa específico de comportamientos en sí, incluso cuando se encuentran todavía en un estadio submicroscópico. De acuerdo con ello será posible tomar cantidades minúsculas de polvo y hacerlas expandirse en formas predeterminadas, tales como esferas, tubos y molduras.

Es posible prever la nueva ciudad, construida en el **mar** mediante grandes moldes circulares de sustancias oleaginosas que producen modelos en que se vierten plásticos para formar una malla de tiras y discos que se expanden en esferas y tubos, y, además, se perforan con fines diversos. Paredes dobles, fenestradas de maneras nuevas, y que contienen sustancias químicas para la calefacción o la refrigeración y la limpieza. La estructura de los techos evoca la de los cristales, los suelos se forman como corales, superficies ornamentadas estructuralmente, con gálidos de tracción visibles que se levantan ingravidamente sobre nosotros. Los pavimentos estampados y decorados aportan una ornamentación adecuada para la vida, y una variedad inmensa de calados y perforaciones componen verjas y enrejados permanentes."⁴¹

Como bien diría Paolo Soleri en Arcología (1968):

*"Cuando el gigantismo urbano y suburbano es considerado como lo esencial del medio ambiente, se niega la esencia de la vida."*⁴²

Debido al enorme crecimiento demográfico y el vertiginoso desarrollo tecnológico, provocó que los pensadores que trabajaban sobre el área del Urbanismo se vieran forzados a plantear soluciones utópicas.

⁴¹ Sería muy oportuno realizar un estudio de comparación entre estas teorías de Katavolos y el proyecto llamado **Atlántida** (1983) de **José Miguel de Prada Poole** (actualmente, Profesor del Seminario de Arquitecturas de Emergencia del Máster de Proyectos Arquitectónicos Avanzados de Madrid). (Marchán, 1974, 472-476). Ver Figuras 10 y 11.

(Consultado el 16 de Junio de 2012 en http://www.realego.es/zk_views/contenidos/utopicas/ATLANTIDA/atlantida.pdf).

⁴² (Marchán, 1974, 479-482).

YONA FRIEDMAN: La arquitectura móvil (1958)

Al igual que Hundertwasser, Friedman pone en relevancia la importancia de incorporar a los futuros inquilinos de sus arquitecturas en los procesos de diseño desde las etapas más iniciales. Friedman plantea unas construcciones flexibles que posibiliten a los habitantes a variar su forma, orientación... Su arquitectura llega a materializarse en su utópica *ville spatiale* (1958-1962) apareciendo una serie de estructuras que flotan sobre la ciudad inmóvil, adaptándose a su topografía y trazados, aumentando así la superficie habitable en la ciudad.

RICHARD DIETRICH: La Metaciudad (1969)

Dietrich plantea un cambio en el modo de ver la ciudad y todas las relaciones que se producen dentro de ella, introduciendo el concepto de **transformación**. Plantea considerar al ser humano como un ente biológico que requiere satisfacer una serie de relaciones energéticas y sociales dentro de la ciudad. Dietrich reduce toda la fenomenología que acontece en la ciudad a unos modelos/**parámetros** matemáticos, como un cálculo estadístico:

*“Los procesos de cambio o transformación, orientados hacia un objetivo por medio de una dirección o de una autorregulación, se denominan **evolución**. El objetivo más universal de toda evolución es alcanzar un estado del sistema de una cualidad más elevada... Para todo proceso evolutivo, que según su definición tiene como objetivo una superación **cualitativa**, son característicos, los siguientes cambios, dependientes unos de otros, **cuantitativos**.*

Como parámetros evolutivos hay que definir:

1 → El grado de diferenciación como medida de heterogeneidad, especialidad, individualidad de los elementos en el sistema.

2 → El grado de variabilidad como medida de la mutabilidad, de la capacidad de regeneración y de adaptación (= flexibilidad) de los elementos del sistema.

3 → El grado de comunicación como medida de la intensidad de las interacciones del intercambio material e informacional

entre los elementos en el sistema.

4 → El grado de complejidad como medida de reticulación, densidad, dependencia, sociedad de los elementos del sistema.

5 → El grado de organización como medida de la capacidad organizativa de los elementos en el sistema.

*El estado óptimo, denominado aquí "estado integral", puede ser determinado según una capacidad óptima de función, alcanzable en un grado determinado de la evolución, y viene dado por la relación posible en este grado del gasto mínimo de energía (=input) en un rendimiento (=output)."*⁴³

Todas estas ideas llegaron hasta el lejano Oriente, concretamente a **Japón**, y tras fusionarse con el notable desarrollo tecnológico de este país, dieron origen al **Metabolismo**.

Una de las características principales del Metabolismo es intentar solucionar todos los problemas de crecimiento demográfico e industrial y los éxodos del campo a la ciudad, con conceptos sintoístas (propios de la cultura japonesa) como la idea del **cambio perpetuo**, que se basa en considerar que no existe nada eterno en la realidad, que todo es efímero, transformable, temporal...

Según Juan Calduch, citando a Günter Nitschke:

*"El acentuado carácter temporal de la conciencia de lugar japonesa es probablemente la razón de su conciencia de un cambio constante o viceversa."*⁴⁴

Para la cultura japonesa, el espacio sólo adquiere una materialización en el momento en que sucede algún evento en él. Esta relación entre los conceptos

⁴³ Las ideas de Dietrich plantean incorporar el concepto de evolución dentro de los parámetros de planificación de una ciudad. Es decir, acepta las premisas del cambio y el proceso, y su posibilidad de adaptarse a futuros sucesos que obliguen a reestructurar las relaciones input/output de la ciudad. (Marchán, 1974, 498-504). Ver Figura 12.

⁴⁴ (Calduch, 2001a, 18).

espaciales y temporales de un lugar es la base del concepto de *ma* de la cultura japonesa:

*“Ma por lo tanto, no es algo creado mediante la composición de elementos u objetos, tal como podamos pensar en occidente del **espacio arquitectónico**, por ejemplo. Es lo que sucede en la conciencia de un ser humano que experimenta esos elementos u objetos”. Es algo similar a lo que nosotros llamaríamos el **espacio de la experiencia**. O mejor aún, la experiencia espacial. Una experiencia que sólo existe en la medida que se da en un momento. Una experiencia espacial y temporal a la vez.*

*Tras la filosofía existencialista, e influida por ella, la teoría arquitectónica occidental ha elaborado una idea de espacio próxima a este concepto de *ma*. Es lo que llamamos **entorno** en el sentido de algo concreto en un momento dado, que se puede destruir o desaparecer.”⁴⁵*

El Metabolismo se caracteriza por presentar múltiples metáforas biológicas que precisan de una ciudad con un elevado grado de industrialización, pero conservando los ideales orgánicos en su propia planificación.

Son numerosos los arquitectos japoneses que se identificaron con esta corriente arquitectónica. Se puede destacar a **Noboru Kawazoe**, **Arata Isozaki**, **Kenzo Tange**, **Kisho Kurokawa**,..., sin embargo, se ha considerado resaltar la figura de **Kioyonori Kikutake** por su proyecto de Ciudad Marina.

KIOYONORI KIKUTAKE: “Marine City” (1959-1960)

Kikutake plantea una ciudad en mitad del océano, previendo los problemas de un desorbitante crecimiento demográfico, posicionamiento muy en sintonía con los ideales de W. Katavolos anteriormente presentados. Contempla los conceptos de continuo cambio y evolución al definir que la ciudad sería como un gigantesco “cluster” que vagaría por los mares continuamente, sin olvidar su preocupación por la relación con la Naturaleza. Kikutake también se plantea la idea de alimentar energéticamente la ciudad con energías renovables como la solar y la

⁴⁵ (Calduch, 2001a, 19).

mareomotriz.

*“La construcción de la ciudad marina comenzará en las plantas manufactureras flotantes (el “cuerpo madre” de la ciudad). De esta planta saldrán las unidades nuevas. Además de crear un “estéreo-espacio” para la comunidad humana, ofrecerá amplio espacio para la preservación y multiplicación de la fauna marina en zonas sumergidas. Ha sido concebida como una **ciudad artificial**, pero sólo en el sentido de que cada función se satisface de acuerdo con esquemas inspirados en la naturaleza y en las formas de proceder del hombre. Será una ciudad industrial “flotante” con una población básica de 500.000 individuos.*

Estará formada por dos anillos, el interior destinado a las viviendas y el exterior a la producción. En una línea central dentro de cada anillo, la revolucionaria autopista de Hitachi será el único medio de transporte, tanto para las personas como para cualquier otro elemento. Una alta torre de control se elevará hacia el cielo hasta 500 metros sobre el nivel del mar y se extenderá, como flotando en el espacio, hasta 1000 metros en sentido horizontal. La torre será el centro energético de la ciudad. Un sol artificial, ubicado en su parte más alta, iluminará toda la ciudad, además de funcionar como “foso” o terminal de un sistema de transporte que conecta a la ciudad marina con otras ciudades similares. Este puerto será utilizado por transportes submarinos. Aviones a retropropulsión despegarán y aterrizarán en zonas adyacentes a la torre central.”⁴⁶

Hacia 1961 aparece en Inglaterra un grupo de arquitectos llamado **Archigram** (y su homónima revista) con fuertes vínculos con las teorías Metabolistas japonesas, teorías que refunden con las novedosas tendencias “pop” inglesas de estos años. Uno de sus proyectos más interesantes es “Walking City”. El personaje más importante de este movimiento es **Peter Cook**, arquitecto que sólo puede entender la arquitectura desde su cualidad de **acontecimiento**⁴⁷, de temporalidad

⁴⁶ (Marchán, 1974, 507-511). Ver Figuras 13 y 14.

⁴⁷ Postura asimilada de los preceptos teóricos del movimiento Metabolista japonés.

ARCHIGRAM: "Plug-in City" (1964-1972)

Este proyecto se considera de vital importancia para la elaboración de este trabajo de investigación, debido a que se trata de una extensa recopilación de todas las teorías, ideas y proyectos anteriormente descritos. Archigram imagina esta Plug-in City como una megaestructura con un marcado carácter industrial y dotada de un sinfín de elementos mecánicos (grúas, ferrocarriles,...) que constantemente están modificando⁴⁸ la imagen y composición de la ciudad, al ir retirando y completando sus partes cuando éstas queden obsoletas. El concepto de **obsolescencia** es fundamental para comprender este proyecto.

"La plug-in city presupone que en la época presente, un edificio, calle o ciudad caen en desuso antes de que se hagan inadecuados y planteen la necesidad de su reposición. La "ciudad interconexa" es un estudio sobre la estructuración física de un sistema de partes fungibles. Toma elementos de ámbitos muy desarrollados tecnológicamente, como, por ejemplo, refinerías de petróleo, torres de lanzamiento de cabo Kennedy, tal como se advierte también en la Walking City de R. Herron (1964), o la Torre de Montreal (1963), de Cook.

*En estas propuestas es necesario destacar la representación gráfica de los proyectos. El diseño posee más un carácter evocativo que descriptivo. La cosa es considerada como elemento lúdico y consumible, la ciudad es una aglomeración de formas y modos de ser del mundo contemporáneo de la técnica. "Archigram" es un caso límite de la utopía tecnológica. Acepta un compromiso total con el mundo de la producción y del consumo, pero se manifiesta más a nivel imaginativo que sistemático y organizativo. Tal vez, la principal novedad formal es la variante de combinaciones de grandes estructuras con unidades pequeñas, variables, de gran plasticidad y efectos visuales."*⁴⁹

Una vez señaladas las fuentes históricas que se han tenido en cuenta para la elaboración de este trabajo de investigación, se procede a exponer algunos

⁴⁸ La modificación de la morfología de esta ciudad-red a tiempo real, se plantea mediante la **programación** informática de todos los componentes mecánicos.

⁴⁹ (Marchán, 1974, 525). Ver Figuras 15 y 16.

proyectos más recientes. Todos estos proyectos giran alrededor de la figura de **R&Sie(n)**, estudio de arquitectura con base en París que fue fundado en 1989 por **François Roche** y Stéphanie Lavaux. Su obra arquitectónica busca articular lo real y/o ficción, las situaciones geográficas y las estructuras narrativas que pueden transformarlas.

R&Sie(n) despliega sus protocolos a través de puesta en carga de diferentes tipos de relaciones contemporáneas: estéticas, mecánicas, computacionales, orgánicas, biológicas e incluso artificiales. Emplean las especulaciones y ficciones como las estrategias operativas para desalinear modos operativos e infiltrarse en la *cultura de los medios* con el fin de subvertir sus convenciones. Consideran la identidad arquitectónica como la **incertidumbre**⁵⁰ que emana de los principios definidos a través de procesos provisionales y las formas en que el animismo, el vitalismo y el mecanismo se vuelven vectores de mutaciones dinámicas.

Estos arquitectos participan críticamente de la tecnología contemporánea en experimentos alquímicos, mezclando fuerzas contradictorias para desarrollar escenarios deliberadamente ambiguos que logran fundir realidades que no parecen miscibles. Sus dispositivos sintéticos funcionan, posiblemente, en algún lugar entre las atracciones y aversiones, mezclas simultáneas de obstáculos y posibilidades, de residuos y eflorescencias, amenazas y protecciones, fuerzas mecánicas y fuerzas naturales. Aquí todo está entrelazado y anudado, en el proceso de convertirse, en un movimiento en devenir.

El primer proyecto a analizar sería **Terra Incógnita/Isla Ociosidad**⁵¹, obra de François Roche que expuso en la primavera de 2006 en el Museo de Arte Moderno de París y en verano, en la Tate Gallery de Londres. Este proyecto gira alrededor de la reciente aparición en la Antártida de una *isla*⁵². Se trata de una pequeña elevación montañosa que está perdiendo su cobertura de hielo. Podría parecer una simple consecuencia más del actual cambio climático global, sin embargo, esa zona corresponde con una de las únicas zonas de anidación del pingüino

⁵⁰ No es casualidad que el blog principal del Máster que imparten François Roche y Marc Fornes en Columbia (EE.UU) tenga por nombre **(n)Certainties**. (Consultado el 13 de marzo de 2012 en <http://ncertainties.wordpress.com/>).

En la página web personal de François Roche también es posible analizar los múltiples proyectos de sus alumnos de máster, todos ellos alineados con su posicionamiento intelectual sobre la arquitectura.

(Consultado el 13 de marzo de 2012 en <http://www.new-territories.com/Defaut2.htm>).

⁵¹ (Consultado el 7 de marzo de 2012 en <http://www.new-territories.com/terraincognita2.htm>).
Ver Figura 17 y 18.

albino, por lo que el cambio de color de este paisaje está generando que los pingüinos se desorienten y muchos de ellos mueran bajo el implacable frío polar. Para este proyecto se construyó una superficie única metálica que imitaba la zona que había sufrido el deshielo, y después, a modo de *deployé*, se fue estirando la chapa mediante unos contrapesos llenos de agua, que simulaban el volumen de agua procedente del deshielo de la Antártida.

El segundo proyecto de interés es **Olzweg**⁵³ que se presentó a concurso en 2006 en la ciudad francesa de Orleans, como idea para convertirse en un Museo de Arquitectura Experimental⁵⁴. El solar reservado para este concurso contenía un patio de unos 5000 m², donde R&Sie(n) planteó la generación de una arquitectura compuesta por miles de barras de vidrio⁵⁵ a modo de laberinto. La colocación de esta estructura de barras de vidrio estaría encomendada a una serie de **robots**⁵⁶, actores fundamentales para dotar de incertidumbre y azar al proceso morfológico de este proyecto. Estos robots se programarían para poder reubicarse durante la construcción del proyecto (unos diez años), al interactuar con la situación en tiempo real (vía GPS) de los propios usuarios y visitantes del museo.

El último trabajo a analizar, sería un proyecto realizado por dos alumnos del Máster de Columbia (EE.UU) de 2011, **Mengyi Fan** y **Joseph Justus**, bajo la tutela de François Roche y Ezio Blasetti, llamado **Acqua Alta (2)**⁵⁷. En este proyecto, estos estudiantes se plantean la opción de imaginar una estructura (*isla*) que emerge de las profundidades del océano, gracias a la acción de unas bacterias que van procesando el Carbonato de Calcio (CaCO₃) presente en el agua marina conformando un volumen horadado, a partir de estalactitas y estalagmitas, que va ascendiendo hasta llegar a la superficie del mar. Estas grutas cavernosas sufrirán un bucle dinámico de creación y destrucción, debido a la acción implacable del oleaje y las mareas.

La estratigrafía de esta estructura-isla se compondría de múltiples capas sedimentarias, que se alternarían con depósitos de bacterias que al fallecer se fosilizarían gracias a la acción del carbonato cálcico, contribuyendo así a aumentar su flotabilidad.

⁵³ (Consultado el 7 de marzo de 2012 en <http://www.new-territories.com/welostit.htm>). Ver Figuras 19 y 20.

⁵⁵ Este vidrio procederá del propio reciclaje de este material por parte de los vecinos de esta ciudad, haciéndolos partícipes a todos ellos de la construcción de este proyecto.

⁵⁶ Olzweg, título del proyecto, es en realidad el nombre que los autores dieron a los robots.

⁵⁷ (Consultado el 8 de marzo de 2012 en http://www.new-territories.com/blog/gsap2011/?page_id=956). Ver Figuras 21 y 22.

04_ OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo de investigación consistirá en proyectar una serie de **estrategias de prognosis donde se analizarán las influencias de determinados parámetros sobre los procesos de morfogénesis de la incipiente isla**, que emergerá, gracias a la acción eruptiva del **volcán Kavachi** (Islas Salomón, Oceanía).

Los parámetros matemáticos que se han tenido en consideración para analizar los condicionantes dinámicos que intervienen en la extrusión y **dinámica de fluidos de las coladas de lava** son:

1 → La **viscosidad** del magma.

2 → El **caudal** de salida del material lávico.

3 → La velocidad de enfriamiento del magma que determinará el **grado de cristalinidad** de las rocas volcánicas.

4 → El escape tardío de las burbujas del gas magmático que haya quedado atrapado en el material lávico fijará la **porosidad** de las rocas expulsadas.

Para conseguir realizar estos ejercicios de prognosis sobre la isla emergente, se ha considerado pertinente considerar dos fases: submarina y aérea.

04.1_ FASE SUBMARINA

Nos centraremos en analizar el comportamiento y el crecimiento del edificio volcánico que servirá de base de cimentación a la incipiente isla cuando el proceso eruptivo alcance la cota de la superficie del agua. Para cumplir esta fase nos serviremos del apoyo de las últimas técnicas de representación gráfica paramétrica para poder trabajar con los parámetros volcánicos.

Tras el análisis de la información que nos suministra el material magmático arrojado por el volcán, y su posterior tratamiento informático como parámetros matemáticos, estaremos en condiciones de poder realizar una serie de visualizaciones a tiempo real del ascenso del edificio volcánico de la isla emergente desde el fondo oceánico.

04.2_ FASE AÉREA

Una vez emergida la isla sobre las aguas del océano, se procederá simultáneamente a consolidar su estabilidad y a modelar su perfil morfológico. Para llevar a cabo esta fase, recurriremos a estrategias cibernéticas y maquinaria especializada para poder utilizar el material lávico recién expulsado por el volcán, como **material de construcción** para estabilizar la isla y evitar que se vuelva a hundir por décima vez, debido a la acción del oleaje y las mareas, ya que en los primeros instantes tras emerger sobre las aguas, su grado de **fragilidad** es muy elevado.

05_ METODOLOGÍA

La metodología que se ha empleado para realizar el presente trabajo de investigación tiene su base en una serie de softwares de modelado paramétrico y de programación interactiva. El uso de estos softwares está justificado por las condiciones establecidas en los objetivos de este proyecto. Debido a la elevada complejidad, tanto desde el punto de vista del modelado de los procesos morfogénéticos, como por la necesidad de una elevada potencia de cálculo, es imprescindible trabajar con estas herramientas generativas que nos permitirán analizar los diferentes parámetros de interés para realizar las sofisticadas simulaciones a tiempo real, que buscan cumplir nuestros objetivos en esta investigación. Para la materialización de los objetivos nos hemos apoyado en el empleo de los programas informáticos **C4D**⁵⁸ (modelado/renderizado) y de **Processing**⁵⁹ (visuales/interacción).

El primer trabajo que se va a afrontar sería el levantamiento topográfico de nuestra propia **cartografía** del territorio que vamos a considerar para nuestro estudio en las proximidades del volcán submarino de Kavachi. Esta información nos sería muy útil, porque nos informaría de los antiguos cráteres que tuvo el volcán tras sus múltiples fases eruptivas anteriores, ofreciéndonos la posibilidad de establecer algún patrón de alineación geométrico que nos pudiera ayudar a predecir las futuras posiciones de los cráteres.

Para la construcción de nuestra propia batimetría del volcán submarino de Kavachi, recurriremos a un proyecto de la NASA, llamado **Blue Marble**⁶⁰ para conseguir una localización general y los datos⁶¹ obtenidos por el buque oceanográfico Csiro Franklin en la campaña de la primavera de 2002, para una situación más precisa. Con el análisis de este material se procedería a modelar una batimetría en C4D, usando como material para el renderizado, un mapa de

⁵⁸ C4D es la abreviatura de Cinema 4D, software de uso muy extendido en el mundo de Motion Graphics para conseguir renders fotorealísticos de alta precisión (incluyendo animación y efectos especiales).

⁵⁹ Processing es un lenguaje de programación basado en Java que está sirviendo para que artistas, arquitectos, y en general, cualquier persona interesada en las artes visuales electrónicas, sin tener, necesariamente una gran base de conocimientos en Programación, pueda llevar a la práctica sus visualizaciones de datos o trabajos visuales interactivos.

⁶⁰ Gracias a éste proyecto podemos contar con una representación (con una resolución enorme) de la elevación de la superficie de la Tierra en metros, respecto del nivel del mar. La información que nos reporta esta imagen se concentra en el color de cada pixel (cuanto más blanco, más altitud del terreno y cuanto más negro, más profundo).

⁶¹ (McConachy et al., 2002, 16).

desplazamiento⁶², donde estén presentes todos los datos extraídos del material anteriormente mencionado.

Para representar la visualización de datos sobre el carácter **dinámico** del crecimiento del edificio volcánico de nuestra isla, se realizará un sketch⁶³ de Processing, para aprovechar su cualidad visual y conseguir una simulación dinámica más atractiva.

Debido a que con la anterior visualización, sólo se conseguiría obtener una visión en planta de la batimetría dinámica del ascenso del volcán, sería pertinente realizar una segunda simulación del terreno objeto a estudio, en el que se pudiera visualizar una perspectiva más detallada del entorno. Para cumplir este objetivo, se programará otro sketch de Processing para construir una simulación del **perfil batimétrico** que podría ir alcanzando nuestra isla a lo largo de su ascensión hasta alcanzar la superficie del océano. Esta visualización estará dotada de una **interacción** con el usuario del programa para poder analizar a su gusto la información reflejada.

Una vez realizadas las anteriores visualizaciones para conseguir cumplir los objetivos pertenecientes a la fase submarina, y aceptando que la isla ya ha llegado a emerger sobre la superficie del agua del océano, es el momento adecuado para proyectar una serie de hipótesis sobre la **morfogénesis** de la isla que profundizarán en el estudio de los parámetros⁶⁴ matemáticos que hemos considerado relevantes para analizar los condicionantes dinámicos que intervienen en la extrusión y dinámica de fluidos de las coladas lávicas de nuestro volcán, ya convertido en isla.

Para alcanzar a cumplir este objetivo de la fase aérea, emplearemos como estrategia metodológica la construcción de una definición paramétrica en **Grasshopper**⁶⁵ donde poder relacionar todos los parámetros estudiados y sus relaciones entre sí. Posteriormente, se procederá a exportar las geometrías generadas paramétricamente en Rhinoceros a Cinema4D para poder generar

⁶² El mapa de desplazamiento se usará como textura al material aplicado al elemento que corresponde a la batimetría.

⁶³ Sketch (boceto) es la terminología con la que se conoce en el mundo de Processing a sus archivos, cuya extensión es .pde. Todos los sketches realizados para este trabajo de investigación están realizados con la versión 1.5.1.

⁶⁴ Como recordatorio, los parámetros sobre el magma a considerar son: viscosidad, caudal de salida, velocidad de enfriamiento (grado de cristalinidad) y porosidad (escape tardío de las burbujas del gas magmático atrapado en el interior del magma).

⁶⁵ Ver nota al pie de página nº 24 (p.10).

renders fotorealísticos que reflejen fielmente la morfología de la isla, ahora ya estable sobre la cota del nivel del mar.

Una vez que tengamos la isla en equilibrio inestable sobre el océano, procederemos a distribuir por toda su superficie una serie de **robots**⁶⁶ tetrápodos provistos de unos mecanismos de succión y almacenamiento del material lávico extraído de los cráteres eruptivos del volcán. Estos robots estarán programados con una serie de rutinas para que sean capaces de identificar las zonas más inestables de la isla y depositar allí dónde (y cuándo) sea necesario el material magmático que transportan en su interior para garantizar la estabilidad del nuevo territorio emergido del mar.

Una vez generado todo el material de trabajo anterior, se realizará un par de videos/animaciones⁶⁷, uno donde se pueda visualizar un paseo virtual sobre la isla *construida*, y otro, plasmando el movimiento de nuestro **robot-albañil** sobre la superficie de la isla.

Por último, y dado el elevado carácter formal de este trabajo de investigación, se construirá una **maqueta** de la geometría de la nueva isla. Para su realización se ha considerado oportuno apoyarnos en las nuevas tecnologías de fabricación digital aplicadas en la arquitectura, por lo que se enviará el modelo geométrico de la isla a la empresa **Shapeways**⁶⁸.

⁶⁶ Sólo vamos a considerar las principales solicitudes de diseño de estos robots, ya que sus detalles constructivos se nos escapan al no tener la formación ni los conocimientos necesarios.

La fabricación de estos *robots-albañiles* no es objeto de estudio de este trabajo de investigación, por lo que no se entrará en profundidad en las dificultades técnicas que plantea su construcción y ensamblaje previendo las condiciones ambientales extremas en las que se van a tener que desenvolver para ejecutar sus cometidos. Sin embargo, sí que podemos aventurar que con el nivel y la técnica de hoy en día de la industria aeronáutica y con las aleaciones metálicas más novedosas, no sería una utopía su construcción.

Tal vez podría ser una oportunidad muy interesante el plantear esta idea al profesorado y alumnado del **Máster en Automática y Robótica de la Universidad de Alicante** y establecer una colaboración para intentar lograr una **patente** al conseguir fabricar estos robots. Estamos seguros que muchos volcanólogos de todo el mundo sueñan con poseer algún autómatas, similar al planteado, para poder conseguir muestras de material magmático de las zonas con más difícil acceso e incluso bajo el agua.

⁶⁷ Esta documentación audiovisual se encuentra en el CD adjunto a esta memoria dentro de una carpeta llamada "**Videos**".

⁶⁸ Shapeways es una empresa holandesa que posee la tecnología necesaria para realizar una impresión del modelo geométrico de la isla en **3D** de una sola pieza (sin uniones) en multitud de materiales.

(Consultado el 26 de junio de 2012 en <http://www.shapeways.com/>).

Debido a la elevada complejidad de la geometría del modelado de la isla, el personal técnico de Shapeways ha tenido que modificar algunas especificaciones técnicas del software que utilizan para imprimir los modelos. Este hecho ha provocado un retraso considerable en la entrada en producción del modelo, por lo que va a ser prácticamente imposible que llegue a Alicante antes del 6 de julio⁶⁹, día de la entrega de esta Memoria. Este es el motivo por el cual no se adjunta ninguna imagen de la maqueta de la isla en este trabajo de investigación.

⁶⁹ Los responsables de Shapeways se han comprometido a que, por lo menos, el modelo llegue a Alicante antes de la exposición de este Trabajo Final de Máster (13 de julio). En el siguiente link se puede comprobar que el modelo ya está en la base de datos de Shapeways:

[Consultado el 5 de Julio de 2012 en
<http://www.shapeways.com/model/616018/kavachi-island-section.html>].

Ver Figura 23.

06_ CONTENIDOS

Una vez detallados tanto los objetivos como la metodología a seguir para conseguirlos, se procede a profundizar en los conceptos/ideas que son objeto de estudio en este trabajo de investigación, prestando especial interés por los **parámetros** que caracterizan los diferentes tipos de materiales magmáticos que podemos observar en la superficie terrestre tras episodios eruptivos.

La comunidad científica especializada en Geología desde sus orígenes se preocupó por el estudio y análisis científico del mundo de los volcanes. Si nos remontamos a la Grecia Clásica, ya podemos encontrar las primeras referencias a la naturaleza de estos fenómenos naturales.

Según Araña y Ortiz:

*"En nuestra cultura mediterránea, encontramos ya la primera polémica de índole volcánico que enfrenta las teorías de **Platón** (el río de fuego subterráneo: Phlegethon) y **Aristóteles** (el aire comprimido que inflama el azufre y el betún del subsuelo); pero tuvo que llegar Séneca para dar la primera explicación correcta de una erupción (los volcanes son salideros del material fundido que se encuentra en reservorios subterráneos). **Plinio el Joven**, está considerado como el primer volcanólogo, pues su narración de la erupción del Vesubio, el año 79 – en la que murió su tío Plinio el Viejo – es tan realista, que todavía se identifica como erupciones plinianas a las que reflejan su pormenorizada descripción. También a la cultura latina está asociada la palabra volcán, que se deriva de Vulcano, dios del Fuego, que tenía su fragua bajo la isla de ese nombre."*⁷⁰

Si nos acercamos más al fondo oceánico próximo al volcán Kavachi, enseguida identificamos que se trata del típico **guyot**, es decir, una montaña submarina que emerge convirtiéndose en una isla oceánica, para posteriormente derrumbarse y hundirse, pudiéndose producir varias veces este proceso. Estas oscilaciones en la componente vertical de estos guyots oceánicos están determinadas por la sucesión de ciclos en los que reinan los procesos volcánicos, reforzando así la base del edificio volcánico, y otros, en los que predominan los fenómenos de erosión (generalmente las mareas y el oleaje) que son los

⁷⁰ (Araña y Ortiz, 1984, X).

responsables de desmoronamientos y derrumbes, rebajando así el peso de la isla. Al fin y al cabo, no deja de ser un problema de equilibrio de fuerzas isostático.

Otra característica de estas islas volcánicas que aparecen en mitad del Océano Pacífico es el hecho de que aparezcan configurando **archipiélagos lineales**. Para explicar la formación de estas estructuras lineales, Wilson (1973) elaboró la teoría del punto caliente (*hot spot*), para demostrar que la linealidad de estos conjuntos de islas se debía al movimiento de la placa tectónica sobre la que se asientan y a la aparición de una anomalía, un foco magmático que a lo largo de una serie de episodios eruptivos a lo largo del tiempo⁷¹, iba creando estas islas de una en una. Por lo tanto, teniendo en cuenta la dirección del movimiento de la placa tectónica, las islas más longevas⁷² serán las que sean más distantes de la coordenada vertical del foco magmático, del punto caliente.

El **magma** (etimológicamente proviene del latín 'magma' → pasta, ungüento) es el término que recibe el aglomerado de rocas fundidas parcialmente y ricas en SiO₂, que se genera a una profundidad entre 20 y 300 kilómetros bajo nuestros pies. Por lo tanto, si recordamos los modelos⁷³ del interior de la Tierra de Birger y Schlesberg (1977) y de Mc Kenzie y Richter (1977), este magma se encontraría en la base de la corteza y el manto superior, por lo que esta localización en el interior de la Tierra determinará muchas características mecánicas de los magmas.

Siguiendo a Araña y Ortiz:

*"En el grado de fusión del magma influirá la composición y estructura del manto, pero es lógico que disminuya con la profundidad y aumente con la temperatura, y en condiciones hidratadas. Aparentemente, las combinaciones de estos parámetros nos llevan a la existencia de una amplia gama de fundidos; sin embargo, casi todas las rocas basálticas que conocemos se polarizan en torno a magmas primarios divisibles genéricamente en alcalinos y subalcalinos (toleíticos y calcoalcalinos)."*⁷⁴

⁷¹ El tiempo se considera en términos geológicos (en millones de años).

⁷² Ver Figura 24.

⁷³ (Araña y Ortiz, 1984, 18).

⁷⁴ (Araña y Ortiz, 1984, 24).

No podemos olvidar el papel tan importante que desempeña la fracción **líquida** que se encuentra presente en cualquier magma, que desde el inicio de los procesos de fusión, intervienen en su composición y volumen. Además, debido a su menor densidad respecto a las rocas, inicia su proceso de cristalización mucho antes. Esta es la principal causa de la diferenciación del material lávico y de la posterior enorme diversidad de rocas volcánicas (después de enfriarse la colada de lava).

Los materiales volcánicos, de una forma elemental, se podrían dividir en dos fracciones:

Volátil → Gases que escapan del magma durante los episodios volcánicos.

Lávica → Componente líquida y fluida que contiene gases disueltos.

Cuando el magma llega a la superficie terrestre, pierde sus gases disueltos y se enfría al entrar en contacto con la atmósfera. De esta forma, el magma aumenta su consistencia, originando las rocas volcánicas y dividiéndose en material magmático fragmentario (piroclastos) y, los que interesan para este trabajo de investigación, los materiales lávicos masivos (domos y **coladas**).

Araña y Ortiz afirman:

*“Los materiales lávicos masivos más representativos son las coladas o corrientes de lava en que se resuelve el flujo de magma líquido, expulsado por las bocas eruptivas. La dinámica de estos flujos lávicos dependerá de la **viscosidad**⁷⁵ del magma y del **caudal** de salida”⁷⁶*

Otros parámetros influyentes en la naturaleza de las coladas de lava son la **velocidad de enfriamiento** del propio material, característica que determina su grado de cristalinidad, y la **porosidad**, aspecto que viene determinado por la migración, en forma de burbujas, de los gases disueltos en el magma al enfriarse cuando entra en contacto con la atmósfera.

⁷⁵ Una elevada viscosidad de una colada de lava, implica una fluidez baja.

⁷⁶ (Araña y Ortiz, 1984, 129-130).

Los magmas, según sus características físico-químicas, se dividen en:

Ácidos → Presentan una elevada presencia de SiO_2 (55 - 75%) y Al_2O_3 y una temperatura relativamente baja (inferiores a 900 °C). Estas características le confieren una elevada viscosidad.

Las rocas características de los magmas ácidos son ligeras y de tonos claros, con aspecto vítreo, como por ejemplo las Obsidianas.

Básicos → Son ricos en CaO , MgO y FeO , poseyendo menos de un 50% de SiO_2 . Su temperatura fluctúa entre 1000 y 1200 °C, siendo este dato crucial para incrementar su fluidez (baja viscosidad)

Los basaltos, que abarcan el 90% de las rocas volcánicas, pertenecen a este grupo de magmas, que se caracterizan por presentar rocas oscuras y elevada densidad.

A pesar de la importancia de todos los parámetros anteriormente señalados, es evidente, que la viscosidad es fundamental para nuestro análisis morfogenético. Es lógico pensar que la lava con una baja viscosidad, y siguiendo las líneas de máxima pendiente de la topografía existente, se alejarán rápidamente del cráter eruptivo del volcán, denominándose **coladas**⁷⁷. Sin embargo, las lavas muy viscosas apenas se dispersarán del foco emisor, pasando a llamarse **domos** o agujas.

Las coladas de lava se clasifican según la morfología de su superficie, distinguiéndose dos tipos:

Coladas aa⁷⁸ → Poseen superficies escoriáceas irregulares, producto de un enfriamiento rápido en la parte superior de la colada de lava, cuando la velocidad aún es elevada. Se produce un cuarteamiento de la superficie, generando una costra de escorias que se puede extender a toda la extensión de la colada.

⁷⁷ Debido al objeto de estudio de este trabajo de investigación, sólo nos centraremos en el análisis de las coladas de lava.

⁷⁸ aa es el nombre hawaiano, y en castellano, estas lavas se conocen con el nombre de **Malpaís**, siendo muy típicas de las Islas Canarias.

Coladas Pahoehoe⁷⁹ → Presentan una superficie negra, brillante y lisa, factor éste último, que nos informa de una elevada fluidez y temperatura para poder desgasificarse y enfriarse lentamente. Según la topografía existente, estas lavas pueden recorrer grandes distancias desde su foco emisor.

Para la construcción de nuestra isla, éstas son las coladas de lava que más nos convienen porque nos permitirían llevar la lava, aún en estado plástico y maleable por parte de nuestros robots-albañiles a gran distancia o altura.

Una variante de las coladas de lavas lisas, son las denominadas **lavas cordadas**⁸⁰, que presentan unos pliegues y ondulaciones muy características, producidos por arrastres y movimientos de la costra cuando aún está en régimen plástico, debido al desplazamiento del cuerpo de la colada que aún está fluido bajo la superficie de la colada.

Las coladas de lava submarinas tienen la singularidad que sufren un brusco enfriamiento superficial cuando entran en contacto con el agua del océano. Si el magma es muy fluido, esta circunstancia facilita la formación de un recubrimiento en la cabeza de la colada que funciona como un aislante respecto al exterior. Esta película progresivamente se va tensando debido a la presión interna del magma más caliente hasta generara unas protuberancias que al desprenderse y rodar por el talud del guyot, adquieren un aspecto morfológico similar a una almohada, de ahí que se denominen lavas almohadilladas⁸¹ (**pillow lavas**).

Es momento de tratar de analizar la mecánica de los fenómenos eruptivos volcánicos, con especial interés en los condicionantes dinámicos que intervienen en la extrusión y dinámica de fluidos de las coladas lávicas de nuestro volcán, ya convertido en isla.

La elevada fluidez permite un borboteo en el magma, facilitando el escape continuo del gas disuelto en su interior. Cuando el magma empieza a ascender hacia la superficie, la presión externa disminuye, produciéndose algunas

⁷⁹ Ver Figura 25.

⁸⁰ Ver Figura 26.

⁸¹ Ver Figura 27.

explosiones debido a la brusca expansión de los gases.

La evacuación del material magmático está condicionada por la característica física más importante que caracteriza el movimiento de cualquier fluido, la **viscosidad** (μ). La viscosidad se define como la relación entre el esfuerzo cortante τ_{yx} y el gradiente de velocidades:

$$\tau_{yx} = -\mu \frac{dv_x}{dy}$$

Si μ es independiente del gradiente de velocidades, se puede afirmar que el fluido es **newtoniano**. Si μ disminuye al aumentar el gradiente, entonces pasa a considerarse **pseudoplástico**. En caso contrario, se denomina **dilatante**⁸². Gran cantidad de fluidos presentan la propiedad de permanecer rígidos mientras el esfuerzo cortante no supere un determinado umbral τ_o , por encima del cual se comportan como newtonianos. Estos fluidos se pueden caracterizar mejor según su comportamiento reológico, relacionando los esfuerzos y los tensores de tensión:

$$\tau_{yx} = -\mu_o \frac{dv_x}{dy} \pm \tau_o \quad \text{si } (\tau_{yx}) > \tau_o$$

$$\frac{dv_x}{dy} = 0 \quad \text{si } (\tau_{yx}) < \tau_o$$

A estos fluidos se les denomina **plásticos de Bingham**.

Existe otro modelo, el de Ostwald-de Waele, conocido también fluidos que siguen la ley de la potencia, que responden a la siguiente ecuación:

$$\tau_{yx} = -\mu \left| \frac{dv_x}{dy} \right|^{n-1} \frac{dv_x}{dy}$$

Si n tiende a 1, coincide con la ley de la viscosidad de Newton, para valores menores que la unidad es **pseudoplástico** y para valores superiores, es **dilatante**. Este modelo presenta la ventaja, frente al modelo Bingham, de ser una función continua en todo el dominio de definición.

⁸² Ver Figura 28.

Para los fluidos **viscoelásticos**, coexisten las propiedades del líquido y el sólido. Un modelo para éste tipo de sustancias es el **líquido de Maxwell**, que se rige por la ecuación:

$$\frac{1}{G} \frac{d\tau}{dt} + \frac{1}{\mu} \tau = \frac{d\theta}{dt}$$

Siendo $\theta = \frac{-\delta x}{\delta y}$ (desplazamiento relativo). Cuando $G \rightarrow \infty$, se obtiene la ley de Newton de la viscosidad:

$$\tau = \mu \frac{d\theta}{dt} = -\mu \frac{dv_x}{dy}$$

Si $\mu \rightarrow \infty$, obtenemos la ley de Hooke del sólido:

$$\tau = G \theta$$

Los parámetros μ y G se denominan respectivamente **viscosidad** y **rigidez de Maxwell**. La ecuación reológica de Maxwell describe un líquido que presenta relajación de tensión. Esta característica nos indica que si la deformación permanece **constante** $d\theta/dt = 0$, la **tensión disminuye exponencialmente** con una constante de tiempo denominada **tiempo de relajación**:

$$t_M = \frac{1}{\omega_M} = \frac{\mu}{G}$$

Cuando se aplica una deformación periódica, obtenemos:

$$\tau = \frac{\mu\omega}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_M}\right)^2}} \theta \sin(\omega t + \delta)$$

$$\delta = \text{arcctg} \frac{\omega}{\omega_M}$$

Donde, para altas frecuencias ($\omega \gg \omega_M$), el cuerpo se comporta como un sólido, cumpliéndose la ley de Hooke. A frecuencias bajas ($\omega \ll \omega_M$), se sigue la ley de Newton para la viscosidad.

Como afirma Araña y Ortiz:

“El modelo de fluido de Maxwell es el que mejor se adapta al comportamiento reológico de una lava, especialmente en el intervalo de temperaturas en el que se produce la solidificación. Aunque el modelo se ha establecido para vidrios, el proceso de cristalización escalonada en la lava y el desarrollo de las burbujas aproximan el conjunto a un vidrio. La mayor dificultad en el tratamiento matemático del movimiento de una lava con el modelo de Maxwell conduce a elegir modelos de Bingham e incluso Newton en la mayoría de los estudios, que resultan bastante ajustados lejos de la zona de solidificación.”⁸³

Otro factor a tener muy en cuenta a la hora de analizar el comportamiento reológico de una colada de lava es la variación de la viscosidad que se produce por la temperatura. Si se trabaja con altas temperaturas, podemos aplicar la ley general de la viscosidad en los líquidos, consiguiendo resultados bastante precisos:

$$\mu = \mu_{\infty} \exp (-E/RT)$$

Donde E es la energía de actividad y μ_{∞} , la viscosidad a muy altas temperaturas. Si queremos analizar una situación cercana a la zona de solidificación del magma, obtendremos mejores resultados con esta fórmula modificada:

$$\mu = \mu_{\infty} \exp (b (T_o - T))$$

Si nos introducimos a analizar el comportamiento de una colada considerándolo en régimen **turbulento**, encontraremos una gran cantidad de dificultades.

Como Edgar Morin nos advierte:

“Podemos tanto más tener confianza en estas exclusiones de la ciencia clásica en cuanto que han llegado a ser las pioneras de la nueva ciencia. El surgimiento de lo no simplificable, de lo incierto, de

⁸³ (Araña y Ortiz, 1984, 129-130).

lo confuso, a través de lo cual se manifiesta la crisis de la ciencia del siglo XX es, al mismo tiempo, inseparable de los nuevos desarrollos de esta ciencia. Lo que parece una regresión, desde el punto de vista de la disyunción, de la simplificación, de la reducción, de la incertidumbre microfísica, el carácter aleatorio de las mutaciones genéticas) es, por el contrario, inseparable de una progresión en tierras desconocidas. Más fundamentalmente, la disyunción y la simplificación están ya muertas en la base misma de la realidad física. La partícula subatómica ha surgido, de forma irremediable, en la confusión, la incertidumbre, el desorden. Cualesquiera que sean los desarrollos futuros de la microfísica, no se volverá ya al elemento a la vez aislable, simple e indivisible.”⁸⁴

Es por esta razón que el movimiento de coladas de lava se analiza siguiendo un régimen laminar. Esta simplificación es aceptada siempre y cuando el **número de Reynolds**⁸⁵ sea inferior a **1000**, situación que se cumple en las condiciones estándar de cualquier colada de lava.

$$Re = \frac{\rho v l}{\mu}$$

Donde ρ es la densidad y μ es la viscosidad del fluido, l una dimensión lineal que caracteriza el conjunto analizado y V la velocidad del fluido característica, para el problema estudiado.

Si consideramos una colada de lava con una viscosidad y densidad **constante** que desciende por una topografía plana inclinada, el número de Reynolds se expresa en función del **espesor** de la capa de fluido δ y la velocidad media $\langle v \rangle$:

$$Re = \frac{4\rho \langle v \rangle \delta}{\mu}$$

⁸⁴ (Morin, 2001,31).

⁸⁵ “El número de Reynolds es una expresión adimensional que nos describe la transición de un fluido en movimiento del régimen laminar al turbulento, relacionando las fuerzas de inercia y rozamiento en el movimiento de un fluido.” (Araña y Ortiz, 1984, 477).

Y también en función de la **velocidad de flujo de masa por unidad de anchura del canal**:

$$(\Gamma = \rho < v > \delta)$$

Como:

$$R_e = \frac{4\Gamma}{\mu}$$

Γ = Gradiente térmico adiabático

07_ RESULTADOS

Debido a que el núcleo de la investigación realizada para el presente Trabajo Final de Máster siempre está girando alrededor de los procesos morfogenéticos de la incipiente isla, consideramos que la opción más pertinente para reflejar las estrategias de prognosis realizadas (cumpliendo con los objetivos y metodología descritos anteriormente en los capítulos 4 y 5), es mostrar los resultados a modo de imaginario.

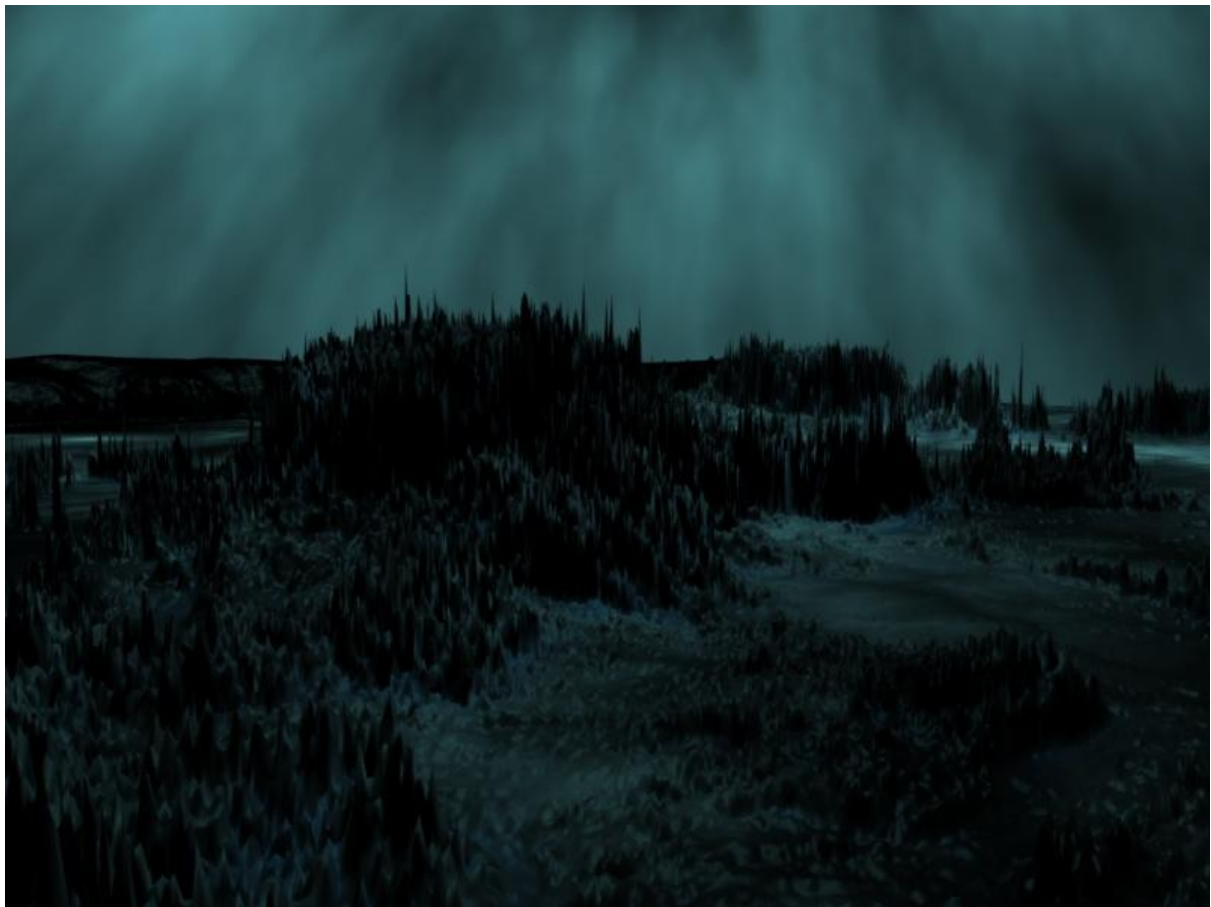


Imagen 1. Construcción de nuestra Batimetría, a partir de los datos facilitados por las imágenes del proyecto **Blue Marble** (NASA) y del buque oceanográfico **Csiro Franklin** (2002) para analizar las localizaciones de cráteres originados en anteriores fases eruptivas.

Software empleado Cinema 4D. **Elaboración propia.**

A continuación se detalla el código de programación del sketch de Processing elaborado para conseguir visualizar el carácter dinámico del flujo magmático bajo el edificio volcánico de la isla. En esta visualización se han tenido en cuenta los siguientes parámetros:

1 → Localización de los cráteres (variable **valores**).

2 → Número de cráteres (variable **niveles**).

3 → Factor de incertidumbre (variable **ruidoEscala**).

Es imprescindible introducir un factor de incertidumbre para simular la situación de inestabilidad propia de los ciclos de crecimiento/hundimiento del edificio volcánico.

Ilya Prigogine afirma:

“Yo suelo afirmar que la materia en equilibrio es ciega, cada molécula sólo ve las primeras moléculas que la rodean. En cambio, el no equilibrio hace que la materia “vea”. Aparece entonces una nueva coherencia. La variedad de las estructuras de no equilibrio que se van descubriendo resulta asombrosa. Estas estructuras revelan el papel creador fundamental de los fenómenos irreversibles, y por lo tanto la flecha del tiempo.”⁸⁶

```
////////// Inicio del código de Processing //////////  
  
// Variables  
  
int [] valores;  
int niveles = 10;  
float ruidoEscala = 0.0025;  
  
////////// Condiciones iniciales de la visualización //////////  
  
void setup() {  
  size (640, 480, P2D);  
  valores = new int [width * height];  
  background (0);  
  noiseDetail (4, .7);  
  noCursor ();  
  smooth ();  
}
```

⁸⁶ (Prigogine, 1999, 28).

////////// Condiciones iterativas de la visualización //////////

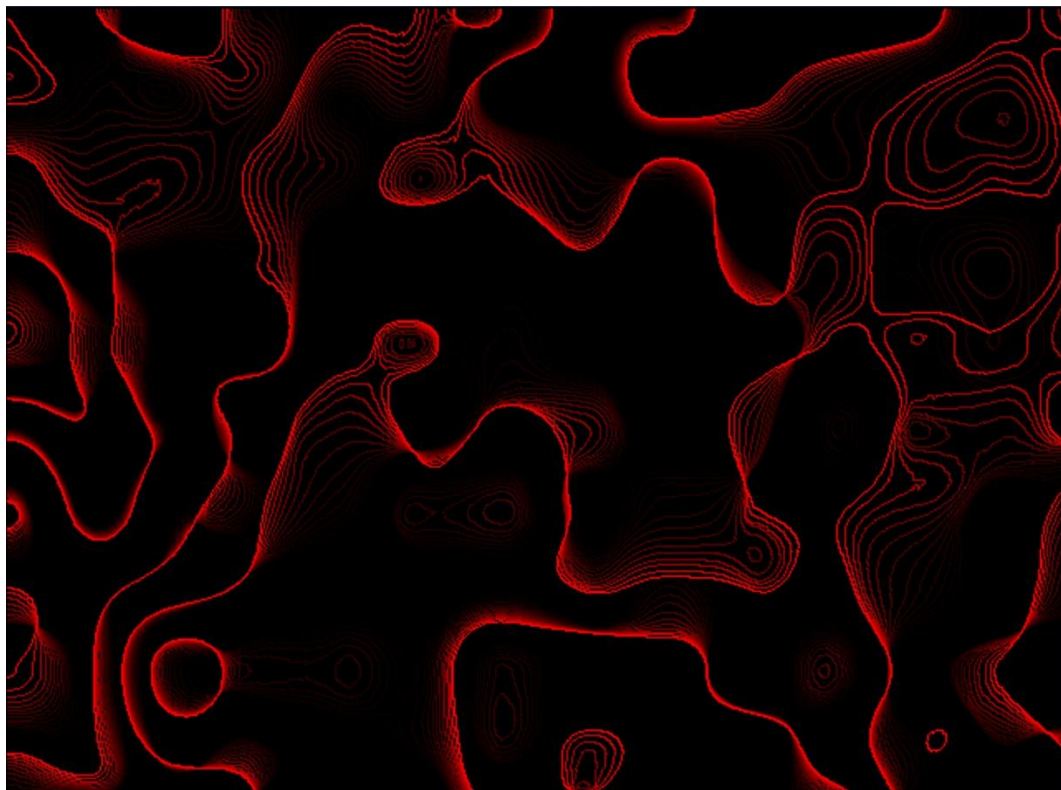
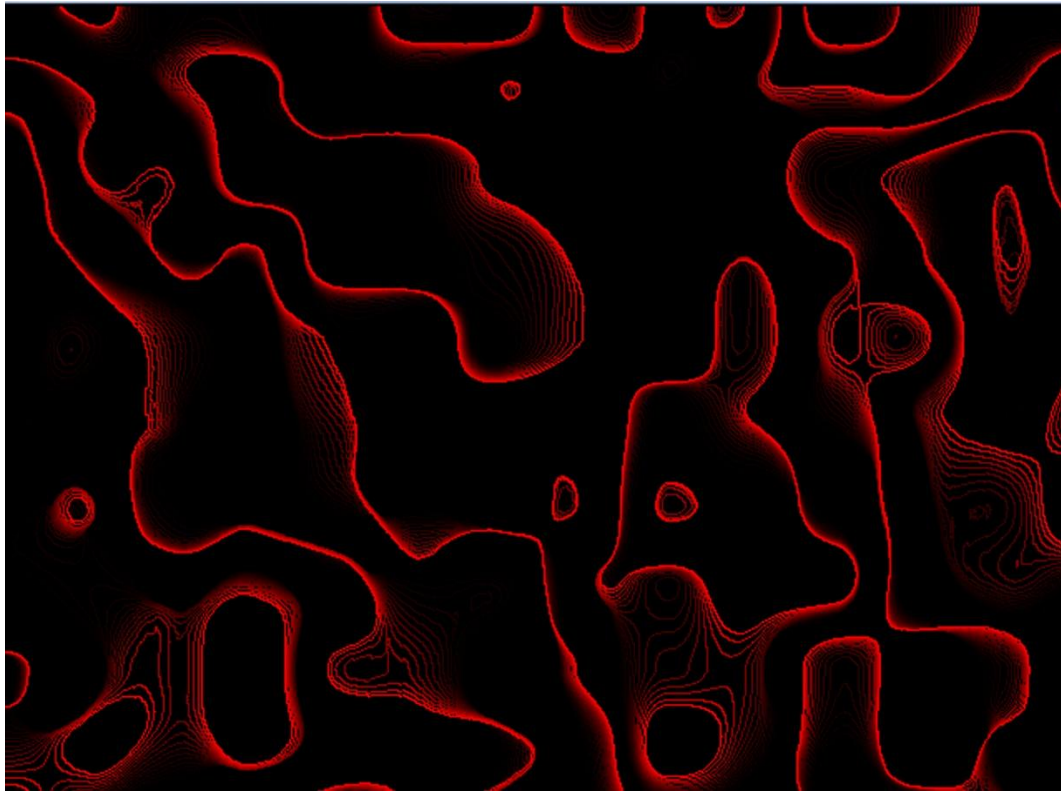
```
void draw() {  
  isolineas();  
}
```

//////////////////////////////// Subrutina //////////////////////////////////

```
void isolineas() {  
  float equidistancia = frameCount * .005;  
  
  // Calculamos los valores con su factor de incertidumbre  
  
  for (int y = 0; y < height; y++) {  
    for (int x = 0; x < width; x++) {  
      int i = y * width + x;  
      valores[i] = (int) (niveles * noise(x * ruidoEscala, y * ruidoEscala, equidistancia));  
    }  
  }  
  
  // Comprobamos la situación de las "moléculas vecinas" (Prigogine) para actualizar  
  // la posición  
  
  loadPixels();  
  for (int y = 1; y < height; y++) {  
    for (int x = 1; x < width; x++) {  
      int i = y * width + x;  
      int center = valores[i];  
      if (center != valores[i - 1] ||  
          center != valores[i - width])  
        pixels[i] = color(255, 0, 0, 30);  
    }  
  }  
  
  updatePixels();  
  fill(0, 45);  
  rect(0, 0, width, height);  
}
```

////////// Fin del código de Processing //////////

A continuación se adjuntan fotogramas que hacen referencia a diferentes fases de la visualización dinámica del flujo magmático ascendiendo desde el fondo oceánico.



Imágenes 2 y 3. Visualización dinámica (durante diferentes instantes) del flujo magmático bajo el edificio volcánico de nuestra isla. Software empleado Processing. **Elaboración propia.**

La anterior visualización tiene el inconveniente que los resultados sólo se ven en **planta**, al tratarse de una simulación de unas curvas de nivel de la batimetría. Por lo tanto, la siguiente simulación intenta mostrar una visión más detallada del entorno de estudio mediante la simulación de un perfil batimétrico, para poder analizar desde una perspectiva la visualización de todo el conjunto.

Esta segunda visualización tiene la característica de poseer dos grados de **interacción** con el usuario. De esta forma, será el propio usuario el que modifique el punto⁸⁷ de vista del conjunto a su voluntad para poder analizar en detalle aquello que más le interese, y también, pueda modificar ciertos parámetros y tener cierto control sobre la información que le devuelve la simulación.

A continuación se describe el código de programación del sketch de Processing creado para realizar una simulación del fondo oceánico ante un futuro episodio eruptivo. Para su elaboración se han tenido en cuenta los siguientes parámetros:

- 1 → Creación de una cámara para la visualización en perspectiva (variable **cam**).
- 2 → Creación del fondo oceánico que vamos visualizar (variable **terreno**).
- 3 → Dimensiones del fondo oceánico (variables **DIMX** y **DIMY**).
- 4 → Introducción de un Factor de incertidumbre por parte del usuario a través de la coordenada Y del ratón (variable **ratonMapeadoY**).

```
////////// Inicio del código de Processing //////////  
  
////////// Librerías //////////  
  
import processing.opengl.*;  
import plethora.core.*;  
import toxi.geom.*;  
import peasy.*;
```

⁸⁷ Gracias a la librería externa de Processing llamada **Plethora** desarrollada por **José Sánchez** (profesor de programación del Laboratorio de Investigación en Diseño de la Architectural Association de Londres (AADRL)). En el siguiente link se puede analizar gran parte de su trabajo tanto en el AADRL como en el grupo de investigación Biothing.

(<http://www.plethora-project.com/>)

```
//////////////////////////////// Variables //////////////////////////////////

//Objeto peasyCam

PeasyCam cam;

//Declaramos un Terreno en Plethora

Ple_Terrain terreno;

Vec3D location;
int DIMX = 1000;
int DIMY = 1000;

///////// Condiciones iniciales de la visualización //////////

void setup() {
  size(1200, 600, OPENGL);
  cursor(CROSS);
  smooth();
  cam = new PeasyCam(this, 600);
  frameRate(7);
}

///////// Condiciones iterativas de la visualización //////////

void draw() {
  background(0);

  //declaramos un vector como localización

  localizacion = new Vec3D(-DIMX/2, -DIMY/2, 0);

  //Inicializamos el terreno, con el nº columnas/filas y el tamaño de la celdilla

  terreno = new Ple_Terrain(this, localizacion, 300, 300, 5, 5);

  //Introducimos la coordenada Y del ratón a través del usuario

  float ratonY = mouseY;
  float ratonMapeadoY = map(ratonY, 0, height, 10, 150);
  terreno.noiseHeight(0, ratonMapeadoY);

  //visualizamos el fondo oceánico dinámico

  stroke(255, 0, 0, 90);
  strokeWeight(1);
  terreno.drawLines(true, false, false);
}
```

```
//////////////////////////////// Fin del código de Processing //////////////////////////////////
```


Seguidamente se adjuntan tres fotogramas de tres instantes de la segunda visualización que corresponden con:

Fase 1 → Coordenada Y del ratón próxima a la **zona inferior** de la ventana de visualización (ascenso relativamente suavizado del edificio volcánico).

Fase 2 → Coordenada Y del ratón próxima a la **zona central** de la ventana de visualización (ascenso pronunciado del edificio volcánico).

Fase 3 → Coordenada Y del ratón próxima a la **zona superior** de la ventana de visualización (ascenso abrupto del edificio volcánico).

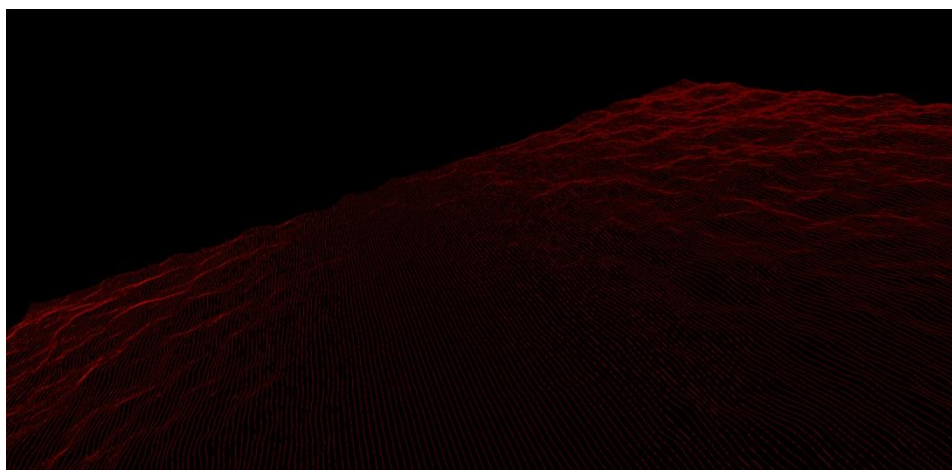


Imagen 4. Visualización del perfil batimétrico de nuestra isla en su ascensión a la superficie. Software empleado Processing. Fase 1 (interacción con la coordenada Y del ratón). **Elaboración propia.**

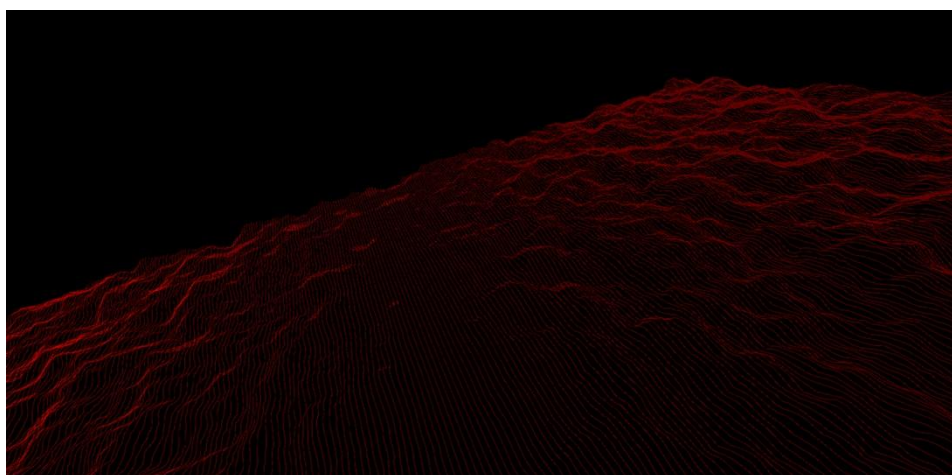


Imagen 5. Visualización del perfil batimétrico de nuestra isla en su ascensión a la superficie. Software empleado Processing. Fase 2 (interacción con la coordenada Y del ratón). **Elaboración propia.**

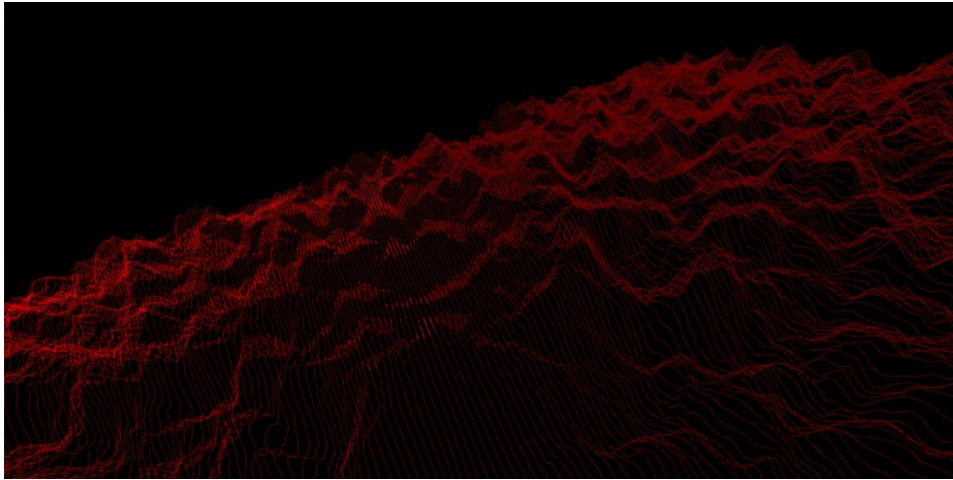


Imagen 6. Visualización del perfil batimétrico de nuestra isla en su ascensión a la superficie. Software empleado Processing. Fase 3 (interacción con la coordenada Y del ratón). **Elaboración propia.**

Una vez descritos los resultados de la etapa de ascensión del edificio volcánico, y aceptando que la isla ya ha llegado a emerger sobre la superficie del océano, estamos en condiciones de mostrar los resultados que hemos obtenido tras aplicar las hipótesis de prognosis acerca de la Morfogénesis de la isla, donde han intervenido los parámetros sobre las cualidades físicas y químicas de las coladas de magma que hemos descrito en los contenidos. La lógica de programación de la definición paramétrica compilada en Grasshopper (Rhinoceors) que se ha empleado para obtener el modelado geométrico de la isla ha sido la siguiente:

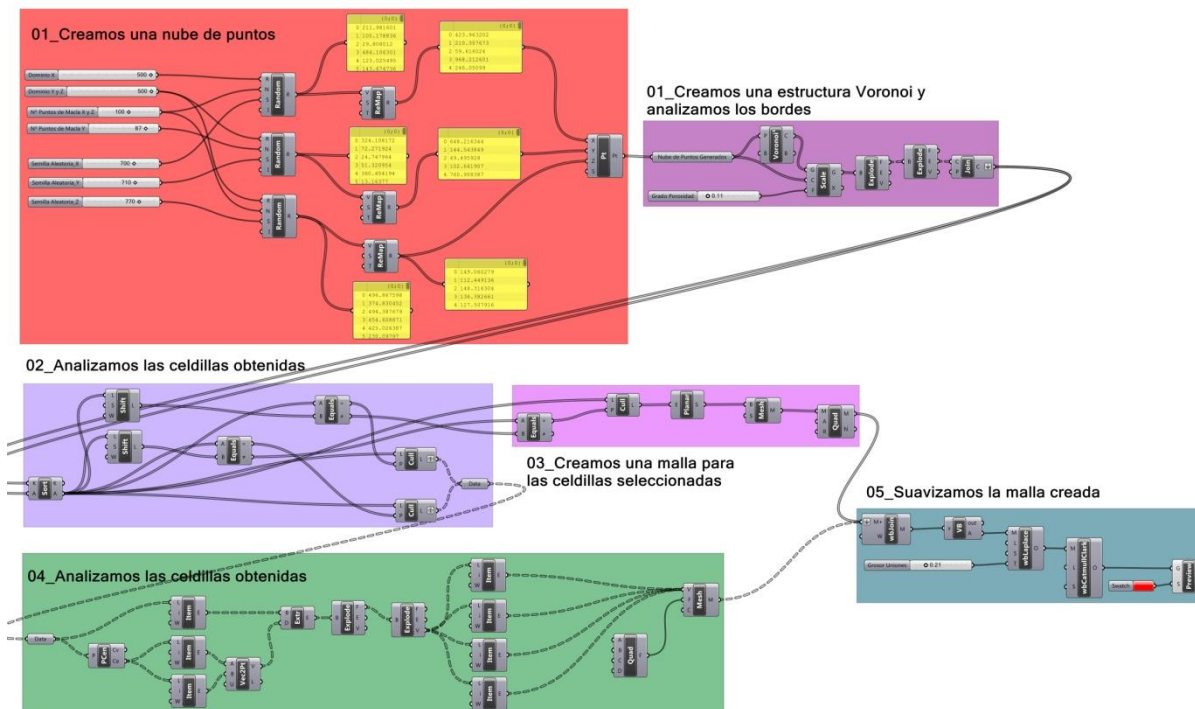


Imagen 7. Definición paramétrica completa para plantear las estrategias de prognosis sobre la Morfogénesis de nuestra isla. Software empleado Grasshopper + Rhinoceros. **Elaboración propia.**

Para una mejor comprensión del funcionamiento de la definición paramétrica, se procede a analizar fase a fase la construcción del modelo geométrico final de la isla según los parámetros que hemos estudiado:

1 → Creación de una nube de puntos base

Esta primera parte de la definición es fundamental, porque debe controlar las dimensiones del volumen prismático, así como una condición de aleatoriedad para que el programa determine con qué puntos de los dominios que le hemos facilitado va a trabajar de aquí en adelante. Esta condición de aleatoriedad es absolutamente necesaria, debido a la imposibilidad de poder prever con absoluta exactitud la morfología de nuestra isla en el momento exacto de su aparición sobre el agua.

No hay que olvidar que nuestro volcán se caracteriza por la típica erupción hidromagmática, y el contacto entre los gases procedentes de la cámara subterránea magmática (elevada temperatura y presión) y el agua que se encuentra a su alrededor, generarán explosiones que tendrán repercusiones totalmente impredecibles (con los actuales modelos matemáticos) en la morfología primeriza de nuestra isla. En esta fase inicial se plantea unos **dominios numéricos** para configurar los límites dimensionales de la isla. Para esta configuración, se dimensionaron en **500** para las coordenadas **X, Y, Z**.

A continuación, se fijan la **cantidad de puntos** que se dispondrán según los dominios anteriormente descritos. En este modelado, se fijaron en **100 puntos** para los dominios **X, Z** y en **87 puntos** para el dominio de las coordenadas **Y**. Es lógico pensar que en el momento que ascienda la isla sobre el océano, su morfología sea más superficial que tridimensional.

Para concluir esta fase inicial, se *determinan* unos **parámetros aleatorios** para reflejar el estado caótico e inestable propio del instante de la aparición sobre las aguas. En esta visualización, estos valores se establecieron como:

Semilla Aleatoria X → **700**

Semilla Aleatoria Y → **710**

Semilla Aleatoria Z → **770**

Finalmente, se **remapean** las coordenadas de los puntos para reajustar los valores y se dibujan definitivamente la **nube de puntos** que configura la morfología básica de la isla.

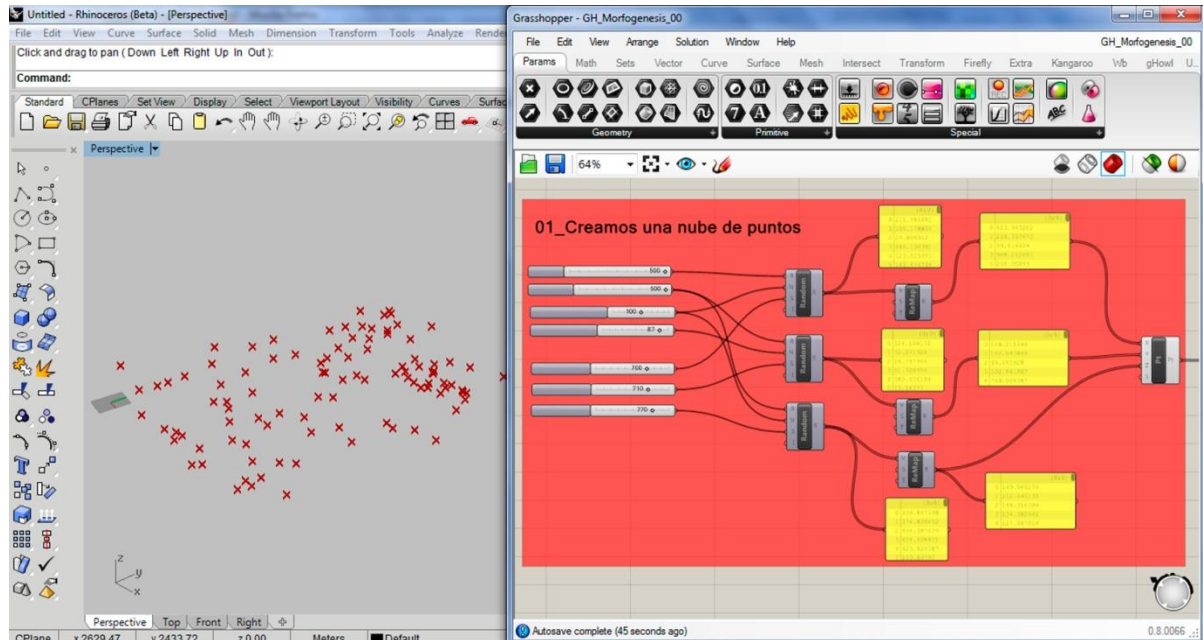


Imagen 8. Detalle de la Fase 1 de la definición paramétrica: Creación de una nube de puntos base. Software empleado Grasshopper + Rhinoceros. **Elaboración propia.**

2 → Creación de una estructura en Voronoi en 3D y análisis de sus límites

Los puntos generados en la anterior fase, los usamos como **vértices** para generar una estructura en **Voronoi**⁸⁸, que posteriormente, escalaremos, tomando como centro de la transformación los mismos puntos y añadiendo un parámetro que se le ha dado el nombre de **Grado de Porosidad**.

El dominio asignado a este parámetro (entre **0** y **1**) está diseñado para responder a las variaciones de la **capacidad de migración del gas** disuelto en las coladas de magma, responsable de la porosidad de las incipientes rocas volcánicas que se están empezando a formar en este momento sobre la superficie

⁸⁸ Una estructura en Voronoi de un conjunto de puntos en el plano (o en el espacio), no es más que la subdivisión del mismo en regiones formadas por los lugares más próximos a cada uno de los puntos. Esta estrategia morfológica de Voronoi está presente en infinidad de estructuras morfológicas en la Naturaleza. Se recomienda analizar la investigación de **María Mingallón** (ingeniera de Ove Arup) que realizó durante su Máster en la AA, donde trataba sobre la arquitectura del ala de una libélula.

(Consultado el 15 de abril de 2012 en <http://www.oasys-software.com/casestudies?id=71%2F>)

de la isla.

Es decir, cuanto más cerca esté del **valor 1**, el gas se escapará más lentamente, dejando en el magma huecos muy pequeños, por lo tanto, se irá suavizando el perfil de la estructura de Voronoi que configura la isla.

En caso contrario, cuanto más próximo esté del **valor 0**, la velocidad de migración del gas en el interior de la lava aumentará, provocando que la isla adopte una morfología más cavernosa.

Esta variación en la capacidad de migración del gas embebido dentro de la lava, evidencia las dos tipologías morfológicas típicas de las coladas lávicas: **aa** (superficies escoriáceas) y **pahoehoe** (superficies lisas).

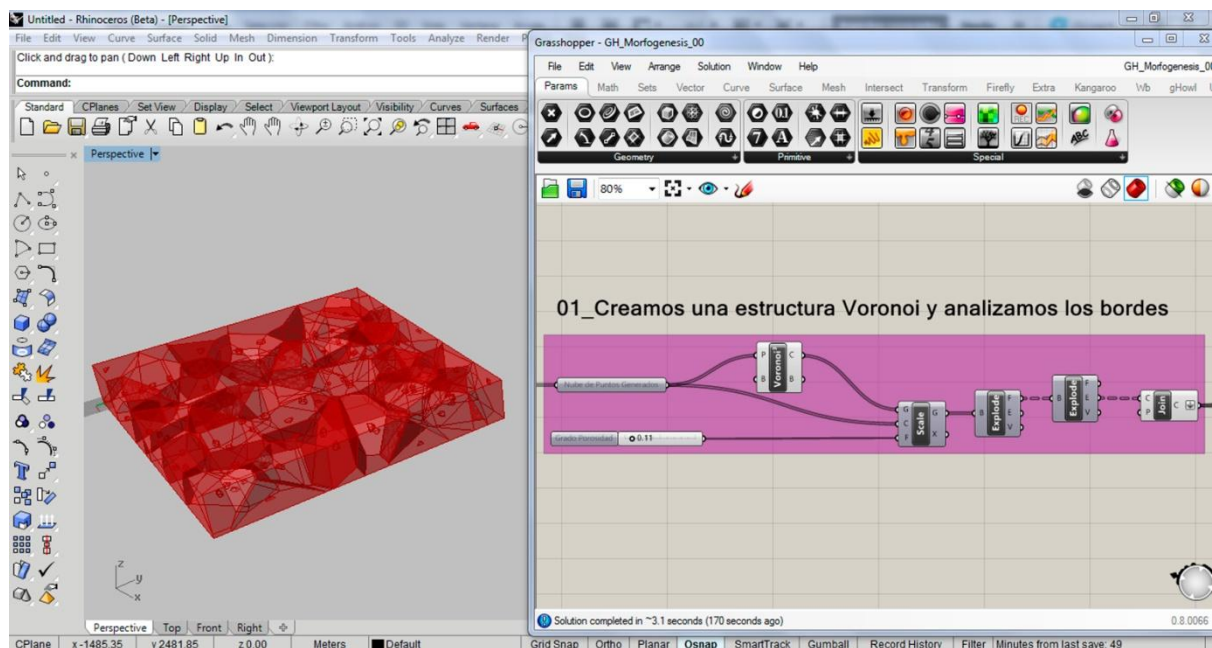


Imagen 9. Detalle de la Fase 2 de la definición paramétrica: Creación de una estructura en Voronoi en 3D y análisis de sus límites. Software empleado Grasshopper + Rhinoceros. **Elaboración propia.**

3 → Análisis de las regiones creadas y de sus nexos de unión

En esta fase de la definición, nos centraremos más en el estudio de los puntos de unión de nuestra estructura de Voronoi, realizando una serie de comparaciones matemáticas para una elección correcta de los nexos de unión.

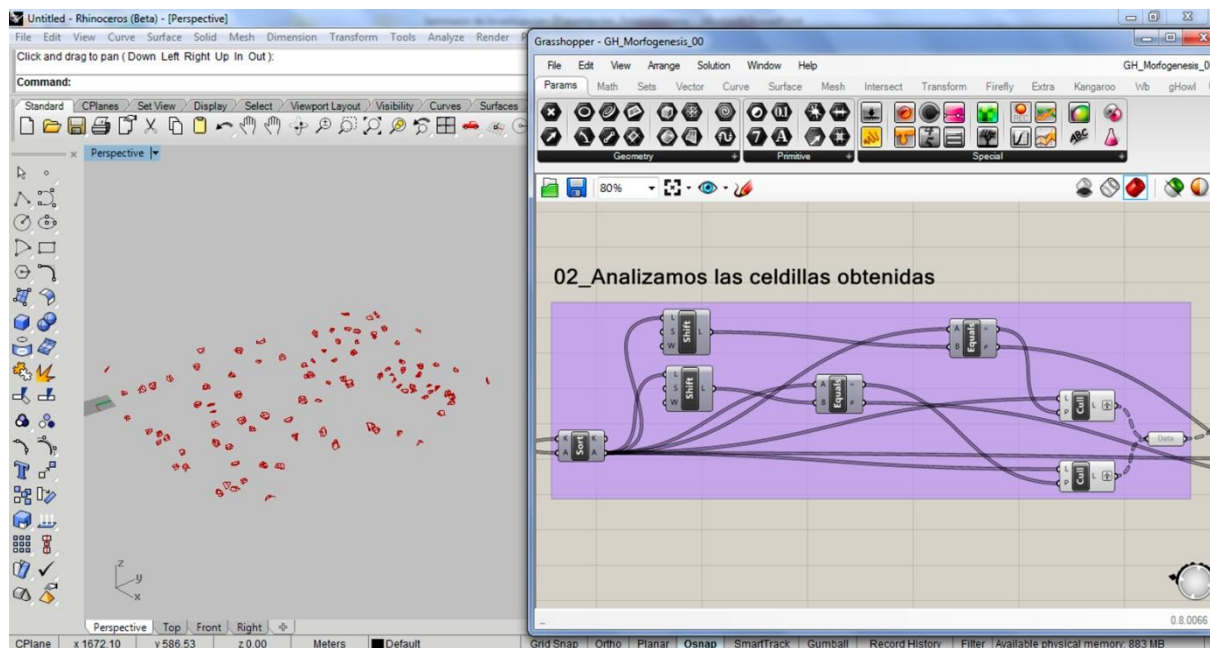


Imagen 10. Detalle de la Fase 3 de la definición paramétrica: Análisis de las regiones creadas y de sus nexos de unión. Software empleado Grasshopper + Rhinoceros. **Elaboración propia.**

4 → Creación de una malla basándonos en las regiones elegidas

Ahora es el momento de construir una **malla básica** que vaya uniendo todas las regiones elegidas dentro de nuestra estructura de Voronoi y teniendo muy en cuenta, la situación espacial de nuestros nexos de unión, mediante la descomposición de los datos procedentes de las comparaciones matemáticas aplicadas en la fase anterior.

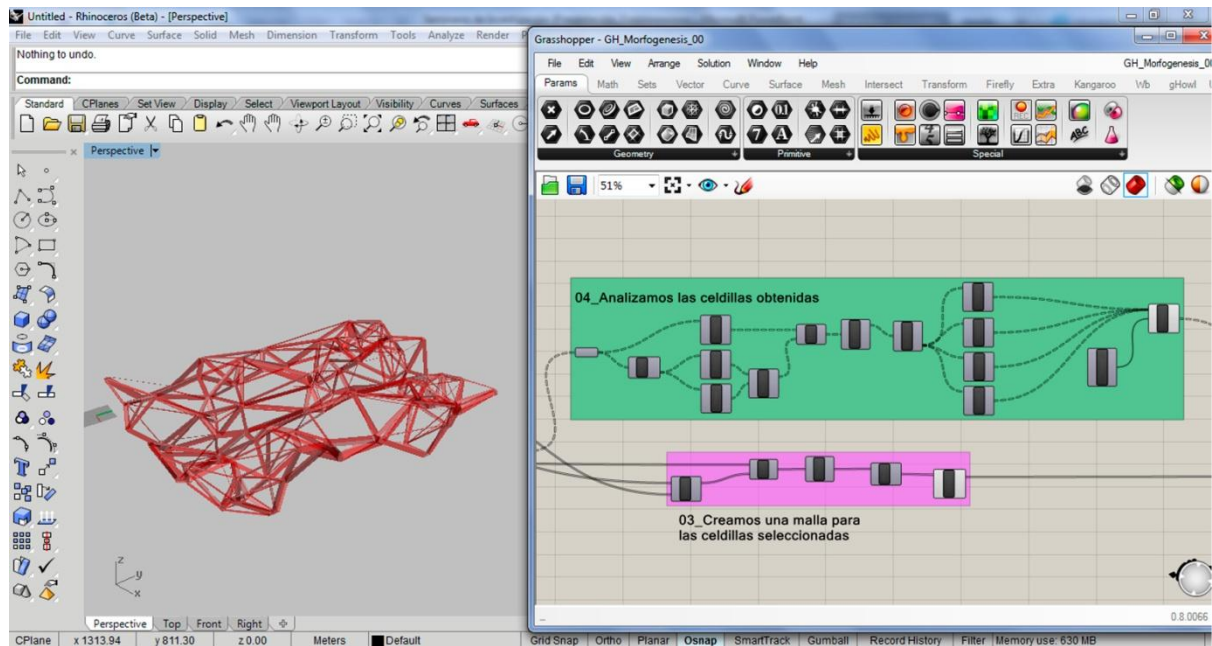


Imagen 11. Detalle de la Fase 4 de la definición paramétrica: Creación de una malla basándonos en las regiones creadas. Software empleado Grasshopper + Rhinoceros. **Elaboración propia.**

5 → Suavizado de la malla básica

Por último, una vez construida la malla básica, tan sólo resta aplicar una serie de algoritmos⁸⁹ matemáticos para conseguir un suavizado de la malla, mediante una subdivisión poligonal, consiguiendo así una mayor aproximación al aspecto morfológico real de la isla emergida. En esta fase de la definición paramétrica se ha incluido un parámetro llamado **Grosor Uniones**.

El dominio asignado a este parámetro (entre **0** y **1**) está calculado para responder a las **variaciones del grado de viscosidad del magma** característico del volcán Kavachi.

Es decir, cuanto más cerca esté del **valor 1**, la colada será menos viscosa (más fluida) y podrá rellenar las depresiones topográficas que vaya encontrando en su avance superficial a lo largo de la isla.

En caso contrario, cuanto más próximo esté del **valor 0**, el material lávico será más viscoso (menos fluido), generando que la superficie de la isla adopte una morfología fracturada.

⁸⁹ Algoritmos procedentes del plugin gratuito Weaverbird creado por Giulio Piacentino.

(Este plugin se puede descargar desde <http://www.giuliopiacentino.com/weaverbird/>).

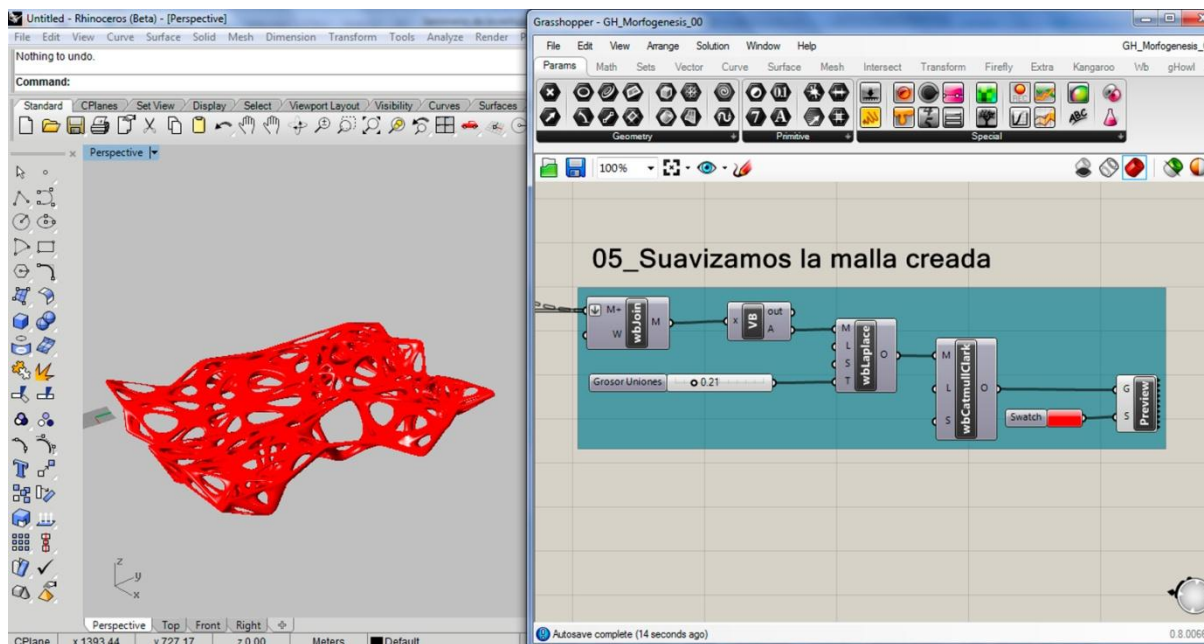


Imagen 12. Detalle de la Fase 5 de la definición paramétrica: Suavizado de la malla básica. Software empleado Grasshopper + Rhinoceros. **Elaboración propia.**

Una vez cumplido el objetivo de recrear una simulación de los procesos morfológicos que acompañarían a nuestra nueva isla en su momento de emerger a la superficie del océano, se procede a la materialización de los **robots-albañiles** que colaborarán en la redistribución del material magmático por toda la isla, para asegurar su estabilidad frente al oleaje, las mareas o posibles derrumbes el edificio volcánico sobre el que se está construyendo.

Para la ideación de estos robots se ha contactado con diversos especialistas en Robótica e Ingeniería Industrial a través del foro de **Arduino**⁹⁰ y el del MediaLab Prado de Madrid. Todos los expertos coinciden en que la temperatura del magma a la hora de *recolectarlo* por parte del robot, no es un problema especialmente importante, ya que no es nada difícil conseguir aleaciones metálicas que estén en condiciones de soportar elevadas temperaturas, como los metales que aparecen en los altos hornos siderúrgicos.

El principal problema que tendríamos en el momento de diseñar el robot, sería cómo evitar que el material magmático se **enfrie**, mientras el robot se desplaza a la posición de la isla donde más comprometida estuviera su estabilidad,

⁹⁰ Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Se creó para artistas, diseñadores, aficionados y cualquiera interesado en crear entornos u objetos interactivos.

y depositar allí su carga de lava. Para ello, los expertos sugirieron que el robot estuviera dotado de algún sistema de generación de calor y unos sensores de temperatura para tener todo el proceso de captación → transporte → depósito monitorizado. Debido a que la construcción material de estos robots no es objeto de este Trabajo Final de Carrera, sólo nos hemos limitado a desdibujar los aspectos más importantes que habría que tener en cuenta en su diseño y concepción técnica.

La imagen inferior muestra la morfología final que tendría la isla, según los valores paramétricos que hemos congelado un instante para obtener esta morfología. Como Greg Lynn afirma:

...“la forma arquitectónica se convierte en algo parecido a una sección transversal de un flujo geométrico continuo”⁹¹...

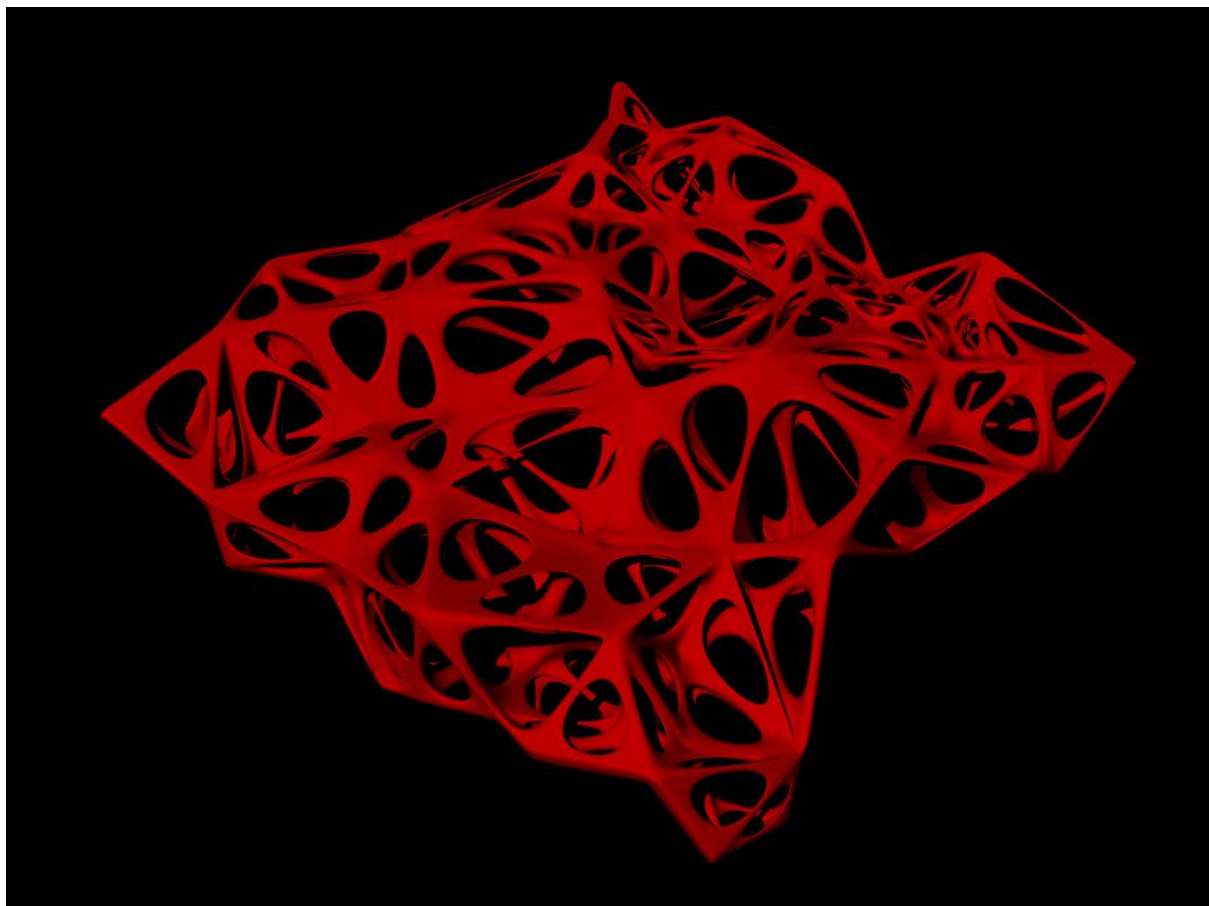


Imagen 13. Resultado final de la definición paramétrica. Software empleado Grasshopper + Rhinoceros (render). **Elaboración propia.**

⁹¹ (Ortega, 2009, 144).

A continuación se pueden apreciar diferentes estadios de la definición morfológica de la isla, así como la visualización de los robots-albañiles operando ya sobre su superficie.

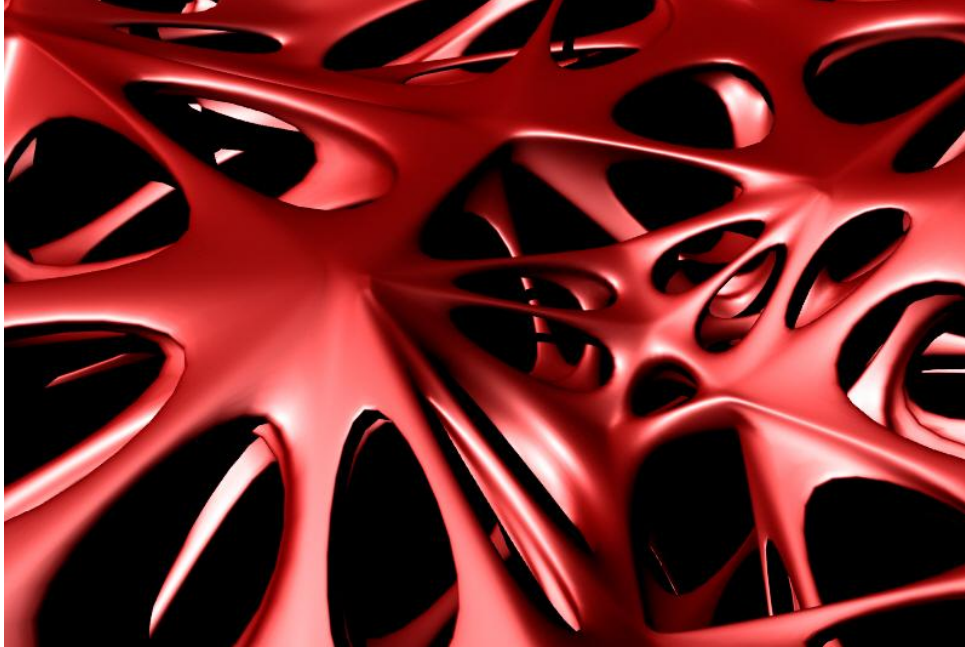


Imagen 14. Detalle del resultado final de la definición paramétrica.
Software empleado Grasshopper + Rhinoceros (render). **Elaboración propia.**

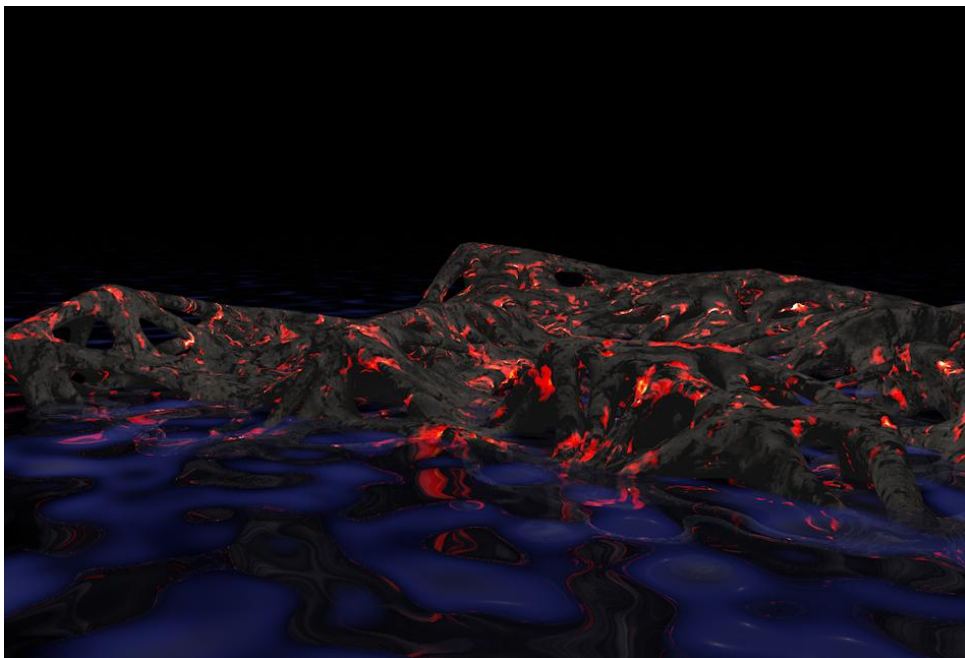


Imagen 15. Imagen final de la isla⁹² completa emergiendo (Render).
Software empleado Cinema 4D. **Elaboración propia.**

⁹² Se ha realizado una animación de la isla completa que se encuentra en el CD adjunto, en la carpeta "Videos", y con el nombre de "00_isla.avi"

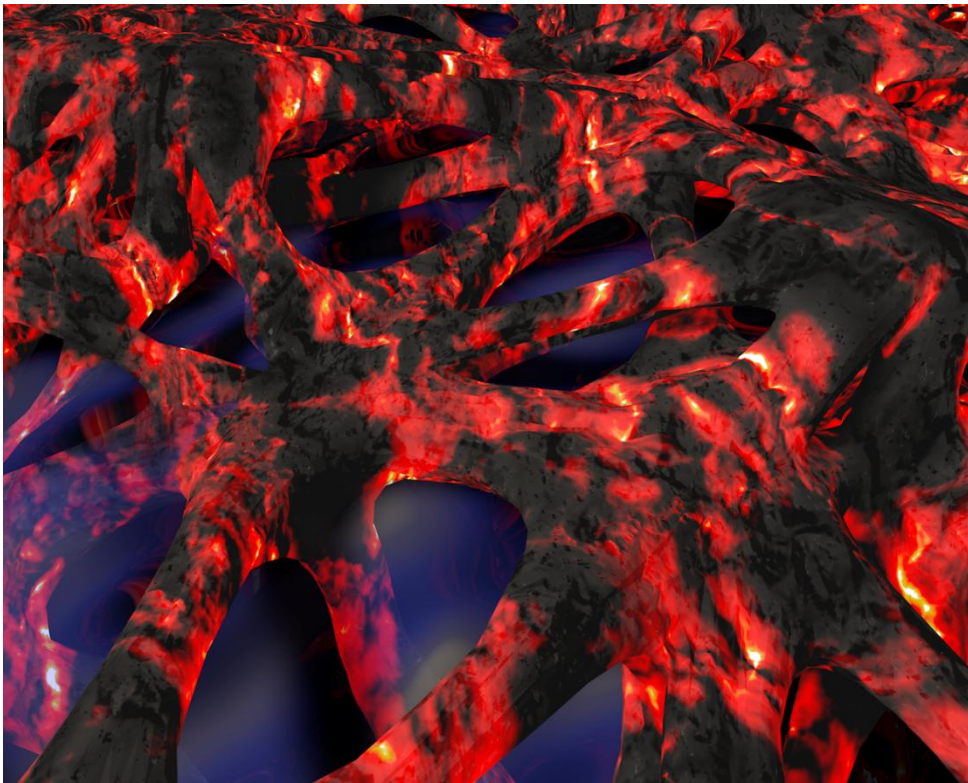


Imagen 16. Imagen final de Detalle de la salida del magma, mientras la isla emerge.
Software empleado Cinema 4D (render). **Elaboración propia.**

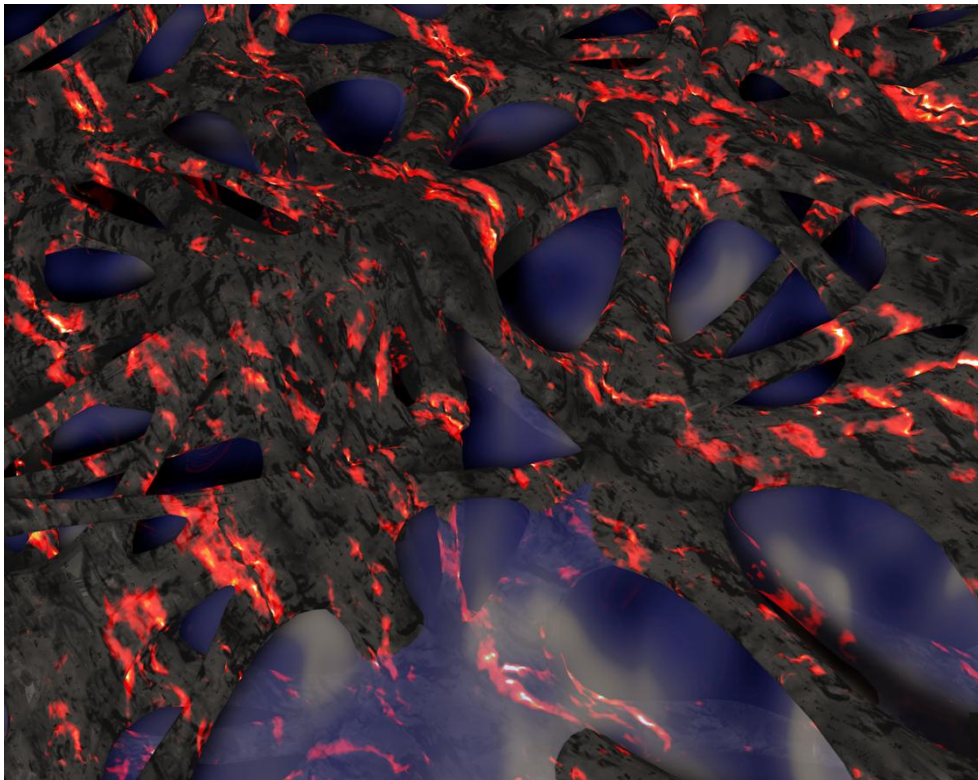


Imagen 17. Imagen final de Detalle de la salida del magma enfriándose, mientras la isla emerge.
Software empleado Cinema 4D (render). **Elaboración propia.**

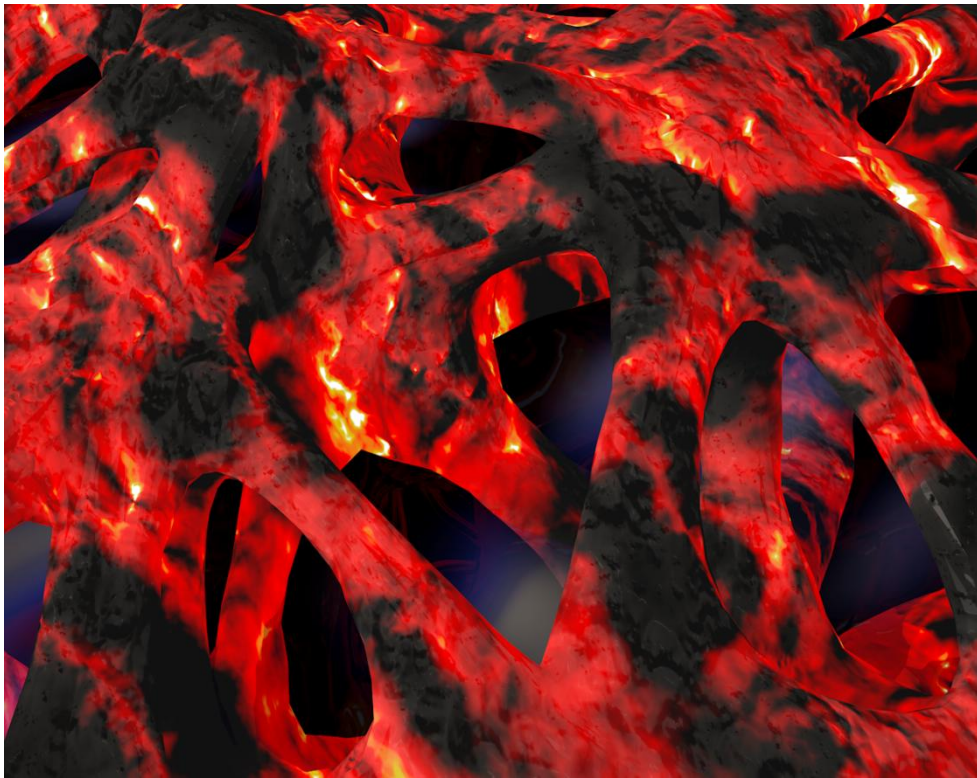


Imagen 18. Imagen final de Detalle de la salida del magma, mientras la isla emerge.
Software empleado Cinema 4D (render). **Elaboración propia.**

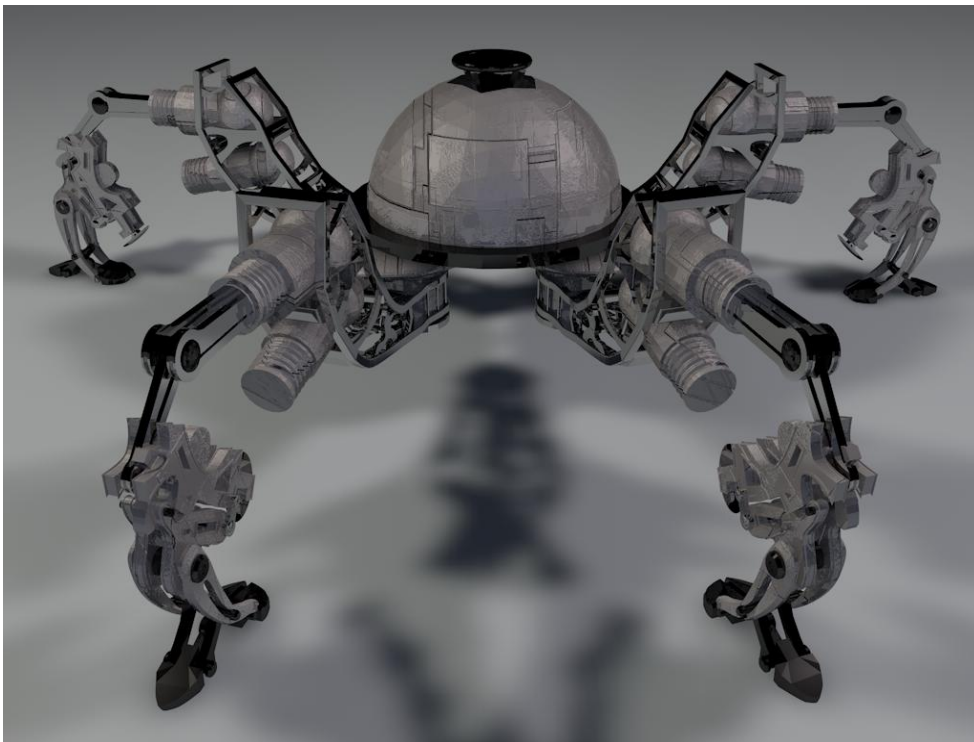


Imagen 19. Imagen final general del Robot estático.
Software empleado Cinema 4D (render). **Elaboración propia.**



Imagen 20. Imagen final general del Robot⁹³ en movimiento.
Software empleado Cinema 4D (render). **Elaboración propia.**

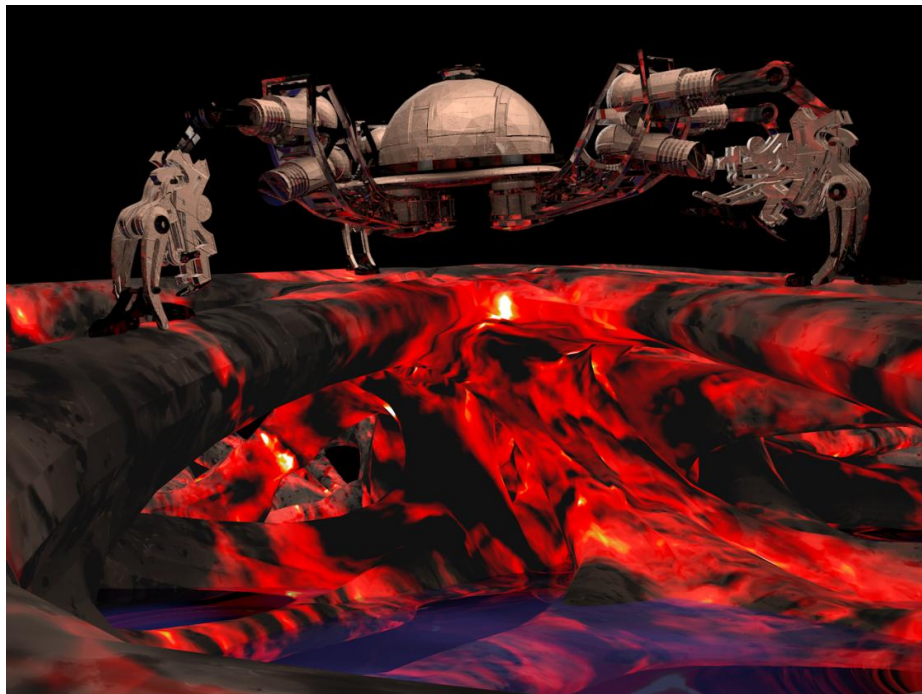


Imagen 21. Imagen final general del Robot en movimiento, mientras la isla emerge.
Software empleado Cinema 4D (render). **Elaboración propia.**

⁹³ Se ha realizado una animación mostrando el Robot en acción, que se encuentra en el CD adjunto, en la carpeta "Videos", y con el nombre de "01_Ente.avi".



Imagen 22. Imagen final general del Robot en movimiento, mientras la isla emerge y se enfría la lava. Software empleado Cinema 4D (render). **Elaboración propia.**

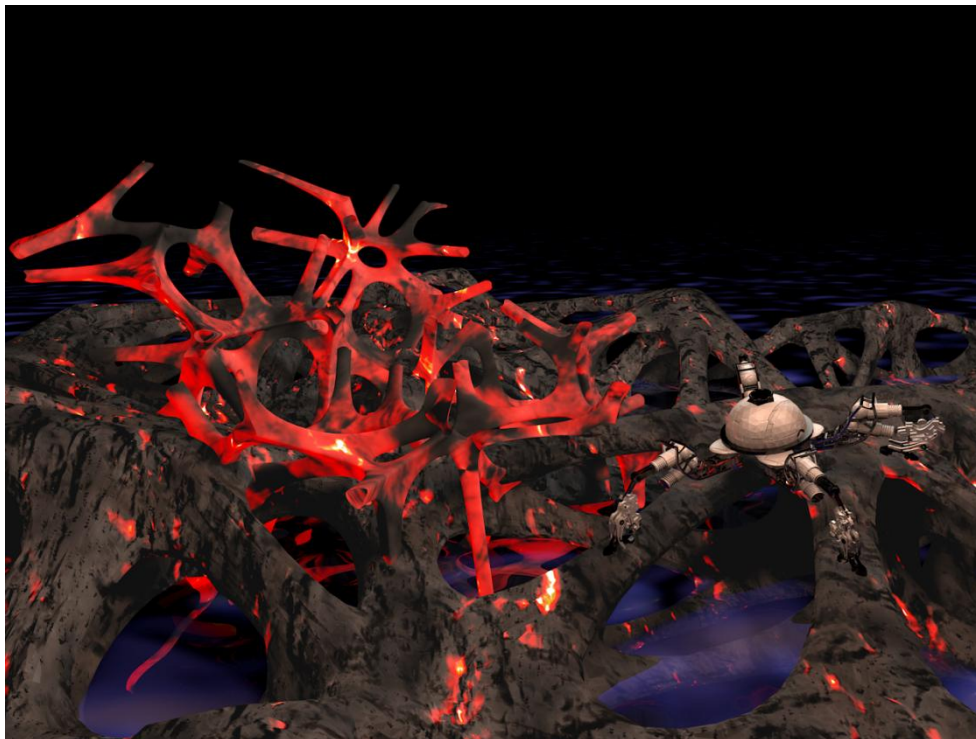


Imagen 23. Imagen final de la isla emergiendo mientras los robots van estabilizándola, depositando material magmático en sus zonas más vulnerables. Software empleado Cinema 4D (render). **Elaboración propia.**

08_ CONCLUSIONES

Hoy en día con el nivel tecnológico que hemos alcanzado, no tiene sentido seguir construyendo formas similares a las que se hacían 5.000 años atrás en Mesopotamia. Tal vez sea la dañina obsesión por la **Estaticidad** en la arquitectura, como denuncia Greg Lynn, la culpable de que el repertorio formal arquitectónico que construimos evolucione muy lentamente. Deberíamos aprender del mundo formal aeronáutico y automovilístico que progresan vertiginosamente, a pesar de tener que cumplir una cantidad ingente de solicitudes dinámicas en sus diseños.

Como señala Frei Otto:

“Para elevar la calidad de la construcción debe iniciarse de una vez, sin dilación, una investigación básica interdisciplinar con objetivos a largo plazo, objetivos que alcancen varias generaciones. ¡La investigación provechosa debe ser intrépida! ¿Dónde están los experimentos, los desarrollos, los inventos que más precisamos?, y, sobre todo, ¿dónde están las incursiones en nuevos territorios? ¿Qué sabemos nosotros, arquitectos e ingenieros, de los hombres, de la naturaleza y del fenómeno del arte?”⁹⁴

El uso empleado en este Trabajo Final de Máster de novedosas herramientas de fabricación paramétricas digitales aplicadas a los procesos arquitectónicos, aún no es muy aceptado en los círculos de los arquitectos más vanguardistas⁹⁵, debido a que consideran que las estrategias proyectuales que se derivan del diseño paramétrico son muy dañinas, ya que sólo se alimentan de un Formalismo exacerbado, y se equivocan... Admitimos que uno de los pilares fundamentales de esta nueva vanguardia arquitectónica sea la Forma, pero lo que realmente nos interesa a los Parametricistas, no es la Forma por la Forma, el embelesamiento por un icono visual... lo que nos interesa, como bien apunta Brett Steele, son los **procesos** mentales, matemáticos y abstractos que nos ayudan a generar unas

⁹⁴ (Otto, 2008, 14).

⁹⁵ Salvo honrosas excepciones como Zaha Hadid, Patrik Schumacher, Enric Ruiz-Geli,...

determinadas estrategias formales.

La realización del presente Trabajo Final de Máster resultaría **inviable** sin apoyarnos en unas herramientas que nos permitan trabajar de forma generativa, con los parámetros que necesitamos analizar para la elaboración de una serie de visualizaciones (algunas a tiempo real, como en el caso de las realizadas con Processing) que nos ayuden a comprender los procesos morfológicos que se pueden dar en el momento que nuestra isla se decida finalmente a emerger permanentemente.

La máxima crítica que podemos hacer al uso intensivo del ordenador aplicado al campo del diseño arquitectónico, es el hecho de confundir el **medio con el fin**. No hay que olvidar que un ordenador es una máquina que puede hacer una gran cantidad de cálculos rápidamente, pero no puede pensar y razonar como nosotros. Siguiendo a Frei Otto:

*"(Del ordenador) sólo se puede sacar lo que en él ya se ha metido; en realidad, donde se crea todo es en nuestro **cerebro**, un ordenador mucho más eficiente, que puede hacer combinaciones mucho mejores, aunque de forma imprecisa e inexacta y muy torpemente, pero es capaz de hacerlo. Por ello quienes sólo confían en el cálculo por ordenador son los torpes de nuestra profesión."*⁹⁶

Si nos centramos en la morfogénesis de la isla, la característica semifluida temporal que posee su material de construcción (coladas lávicas), introduce un concepto **espacial** en el conjunto, debido a que las sustancias en estado líquido son sistemas formales inestables, que huyen de ocupar un espacio indefinidamente, y que ante cualquier mínima variación en su entorno, se reordenan, provocando la aparición de una flecha temporal e irreversible. Entrando entonces toda la complejidad presente en la naturaleza.

⁹⁶ (Otto, 2008, 40-41).

Sabemos que el hecho de plantearnos imitar a la Naturaleza, no es una tarea sencilla por el enorme aparato matemático y de cálculo que acarrea. Sin embargo, este Trabajo final de Máster se posiciona frente a la concepción newtoniana del mundo y está dispuesto a intentar acercarnos cada vez más al conocimiento real del comportamiento de la naturaleza, apoyándonos en los puntos fuertes del diseño paramétrico.

Creemos pertinente terminar este capítulo con unas palabras de **Christopher Alexander**, tratando de evidenciar las virtudes que nos ofrece el ordenador hoy en día para analizar las formas naturales, formas que se caracterizan por su extremada complejidad:

*"Una forma tiene una estructura definida, sustancial y funcional. A medida que vamos entendiendo esa estructura, vemos claramente que es muy compleja y que la indudable velocidad del computador puede ser de gran ayuda. Cuando las relaciones internas que van a convertirse en forma sean mejor conocidas, será inconcebible considerar el computador de otra manera que un simple medio. El computador es un instrumento. Es un instrumento maravilloso, casi milagroso. Como más comprendamos la naturaleza compleja de la forma y la naturaleza compleja de la función, más necesitaremos la ayuda del computador cuando decidamos crear una forma."*⁹⁷

⁹⁷ (Marchán, 1974, 403).

09_ FUENTES DE INFORMACIÓN

Bases de datos bibliográficos del CSIC

<http://www.cindoc.csic.es/servicios/dbinfo.htm>

Bases de datos de tesis doctorales (TESEO)

<https://www.educacion.gob.es/teseo>

Biblioteca digital de la Universidad Complutense de Madrid

<http://revistas.ucm.es>

Biblioteca Universitaria de Alicante (BUA)

<http://biblioteca.ua.es/es/recursos-de-informacion.html>

DART-Europe E-theses Portal

<http://www.dart-europe.eu/basic-search.php>

Departamento de Proyectos Arquitectónicos de la UPC

<http://www.pa.upc.edu/>

Difusión de Alertas en la red (Dialnet)

<http://dialnet.unirioja.es/>

ICONDA

<http://www.ovid.com/site/index.jsp?top=1>

RefWorks

<http://www.refworks.com/es/>

Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante (RUA)

<http://rua.ua.es/>

Tesis Doctorales en red (TDR)

<http://tesisenred.net/>

10_ BIBLIOGRAFÍA

Ábalos, Iñaki (2009). *Naturaleza y artificio: el ideal pintoresco en la arquitectura y el paisajismo contemporáneo*. Barcelona: Gustavo Gili.

Allégre, Claude (1995). *Las iras de la tierra*. Madrid: Alianza.

Aranda, Benjamin (2006). *Tooling*. New York: Princeton Architectural Press.

Araña, Vicente y López, José (1974). *Volcanismo: dinámica y petrología de sus productos*. Madrid: Istmo.

Araña, Vicente y Ortiz, Ramón (1984). *Volcanología*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Bachelard, Gaston (2000). *La poética del espacio*. Madrid: Fondo de Cultura Económica de España.

Ball, Philip (1999). *The Self-made Tapestry: Pattern Formation in Nature*. Oxford: Oxford University Press.

Balmond, Cecil (2007). *Element*. Munich: Prestel.

Balmond, Cecil (2008). *Informal*. Munich: Prestel.

Bauman, Zigmunt (2004). *Modernidad Líquida*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.

Beukers, Adriaan (1999). *Lightness: the inevitable renaissance of minimum energy structures*. Rotterdam: 010 Publishers.

Beukers, Adriaan (2005). *Flying lightness: promises for structural elegance*. Rotterdam: 010 Publishers.

Bergson, Henri (2007). *Materia y memoria: Ensayo sobre la relación del cuerpo con el espíritu*. Buenos Aires: Cactus.

Calduch, Juan (2001a). *Temas de composición arquitectónica: Espacio y Lugar*. vol.7. Alicante: Club Universitario.

Calduch, Juan (2001b). *Temas de composición arquitectónica: Naturaleza y Artefacto*. vol.9. Alicante: Club Universitario.

Calvino, Italo (2003). *Las ciudades invisibles*. Madrid: Siruela.

Deleuze, Gilles (1989). *El pliegue. Leibniz y el Barroco*. Barcelona: Paidós Ibérica.

Deleuze, Gilles y Félix Guattari (2010). *Rizoma*. Valencia: Pre-textos.

Fernández-Galiano, Luis (1991). *El fuego y la memoria: sobre arquitectura y energía*. Madrid: Alianza.

Ferraris, Maurizio (1999). *La imaginación*. Madrid: Visor.

García-Germán, Javier (2010). *De lo mecánico a lo termodinámico*. Barcelona: Gustavo Gili.

Hereu, Pere, Montaner, Josep y Oliveras, Jordi (1999). *Textos de arquitectura de la modernidad*. Hondarribia: Nerea.

Houellebecq, Michel (2003). *Lanzarote*. Barcelona: Anagrama.

Houellebecq, Michel (2005). *La posibilidad de una isla*. Madrid: Alfaguara.

Jarauta, Francisco (2003). *Condiciones contemporáneas de la arquitectura*. Valencia: Ediciones Generales de la Construcción.

Kikutake, Kiyonori (1997). *Kiyonori Kikutake: from tradition to utopia*. Milán: Arca Edizioni.

Kolarevic, Branko (2005). *Architecture in the digital age: design and manufacturing*. New York: Taylor & Francis.

Manzini, Ezio (1996). *Artefactos: hacia una nueva ecología del ambiente artificial*. Celeste: Madrid.

Marchán, Simón (1974). *La arquitectura del siglo XX*. Madrid: Alberto Corazón.

McConachy et al. (2002). *Exploration and Mining Report 1026F*. Sydney: C. J. Yeats.

Mitchell, William (1998). *City of bits: space, place and Infobahn*. Cambridge: MIT Press.

Montaner, Josep (2008). *Sistemas arquitectónicos contemporáneos*. Barcelona: Gustavo Gili.

Morin, Edgar (2001). *El método. La naturaleza de la Naturaleza*. Madrid: Cátedra.

Prigogine, Ilya (1999). *Las leyes del caos*. Barcelona: Crítica.

Romero, Carmen (1991). *Las manifestaciones volcánicas del archipiélago canario*. La Laguna: Universidad de La Laguna.

Romero, Carmen (1986). *Los volcanes*. Madrid: Alianza.

Rothé, Jean (1972). *Sismos y volcanes*. Barcelona: Oikus-tau.

Sadler, Simon (2005). *Archigram: architecture without architecture*. Cambridge: MIT Press.

Pérez de Lama, José (2006). *Devenires cibernético arquitectura, urbanismo y redes de comunicación*. Sevilla: Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.

Prigogine, Ilya (1999). *Las leyes del caos*. Barcelona: Crítica.

Schumacher, Patrik (2009). Parametricism: a new global style for architecture and urban design. *Architectural Design*, 79, 14-23.

Schumacher, Patrik (2011). *The autopoiesis of Architecture. A new framework of Architecture. vol. I*. Chichester: John Wiley & Sons.

Tazief, Haroun (1989). *Los volcanes y la deriva de los continentes*. Barcelona: Labor.

Thompson, D'Arcy (1980). *Sobre el crecimiento y la forma*. Madrid: Blume.

Terzidis, Kostas (1999). *Algorithmic architecture*. Amsterdam: Elsevier-Architectural Press.

Ortega, Lluís (2009). *La digitalización toma el mando*. Barcelona: Gustavo Gili.

Otto, Frei (2008). *Frei Otto: conversación con Juan María Songel*. Barcelona: Gustavo Gili.

Von Hildebrand, Adolf (1988). *El problema de la forma en la obra de arte*. Madrid: Visor.

VV.AA (2008). *AA book: projects review 2008*. London: AA Publications.

Venturi, Robert (1999). *Complejidad y contradicción en la arquitectura*. Barcelona: Gustavo Gili.

Wagensberg, Jorge (2005). *La rebelión de las formas*. Barcelona: Tusquets.

Worringer, Wilhelm (1997). *Abstracción y Naturaleza*. Madrid: Fondo de Cultura Económica de España.

11_ ANEXO DE IMÁGENES



Figura 1. Erupción hidromagmática del volcán Kavachi, 2000
(Islas Salomón, 8°59.65' S / 157°58.23' E)



Figura 2. Última ocasión que el volcán Kavachi emergió sobre las aguas, 2002
(Islas Salomón, 8°59.65' S / 157°58.23' E)

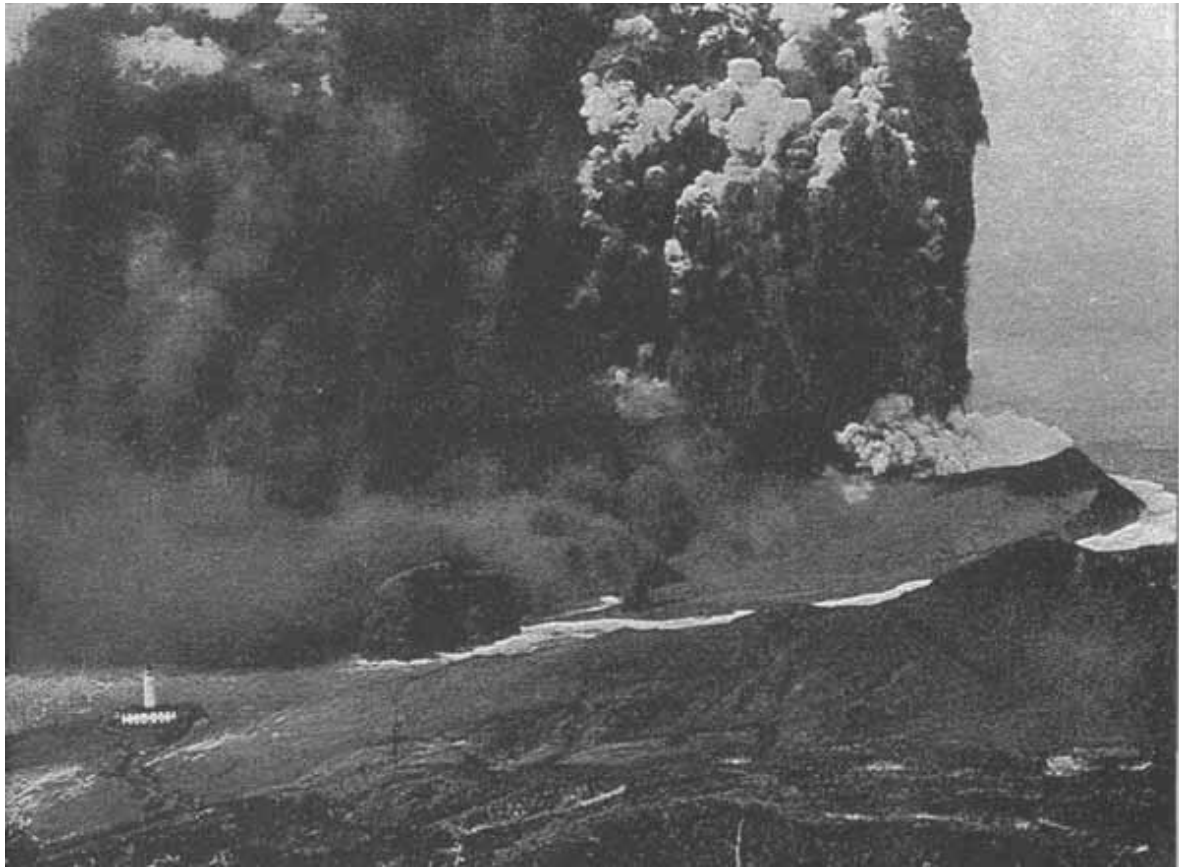
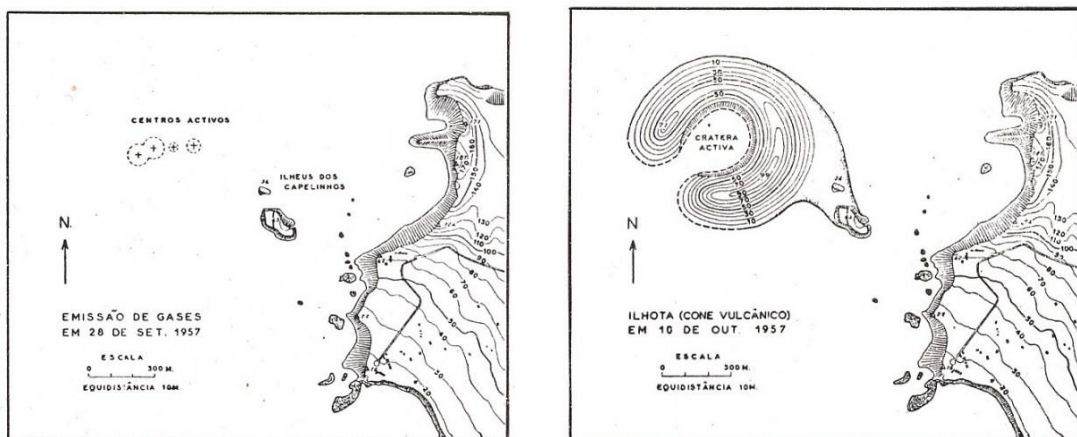
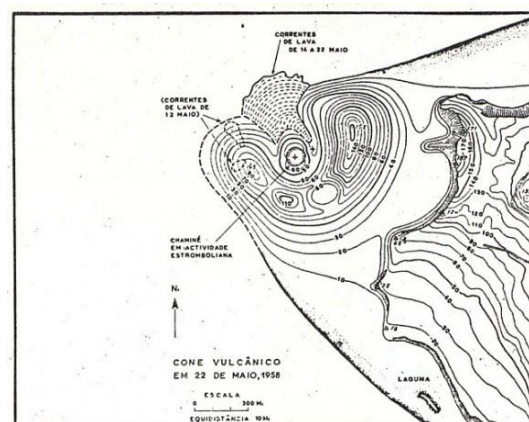
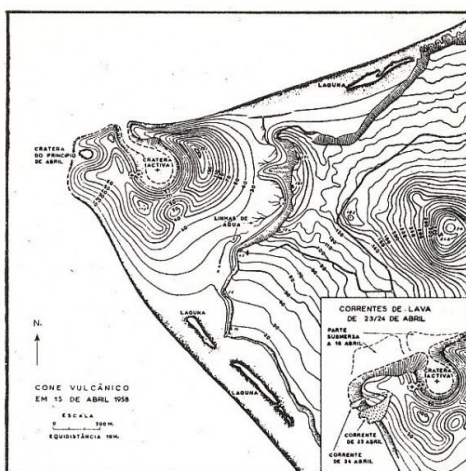
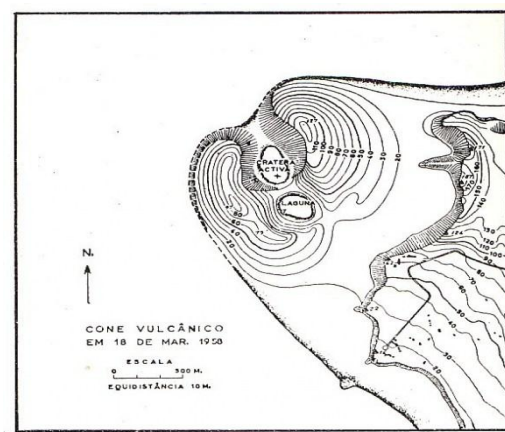
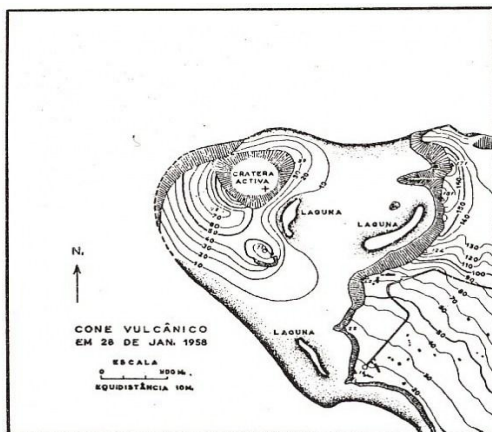
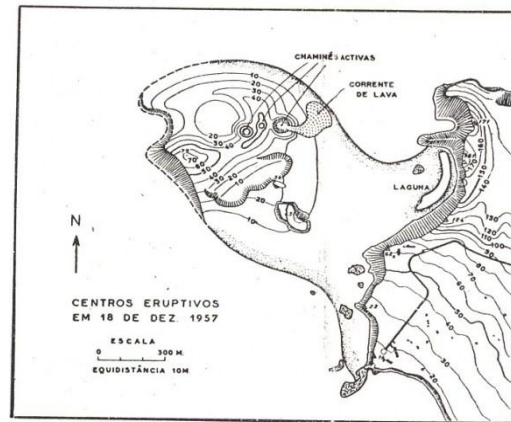
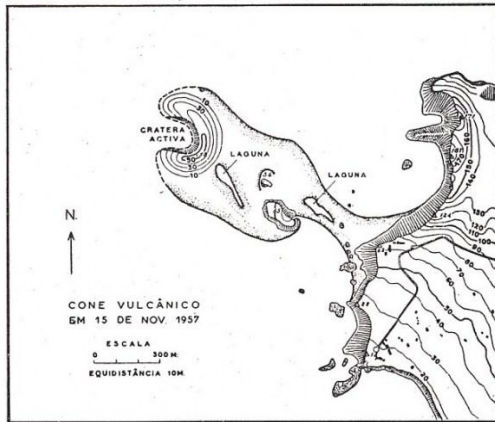


Figura 3. Erupción del volcán Capelinhos, 1957-1958
(Faial, Islas Azores, Portugal)

Figura 4. Secuencia cronológica del proceso eruptivo del volcán Capelinhos, 1957-1958
(Faial, Islas Azores, Portugal)





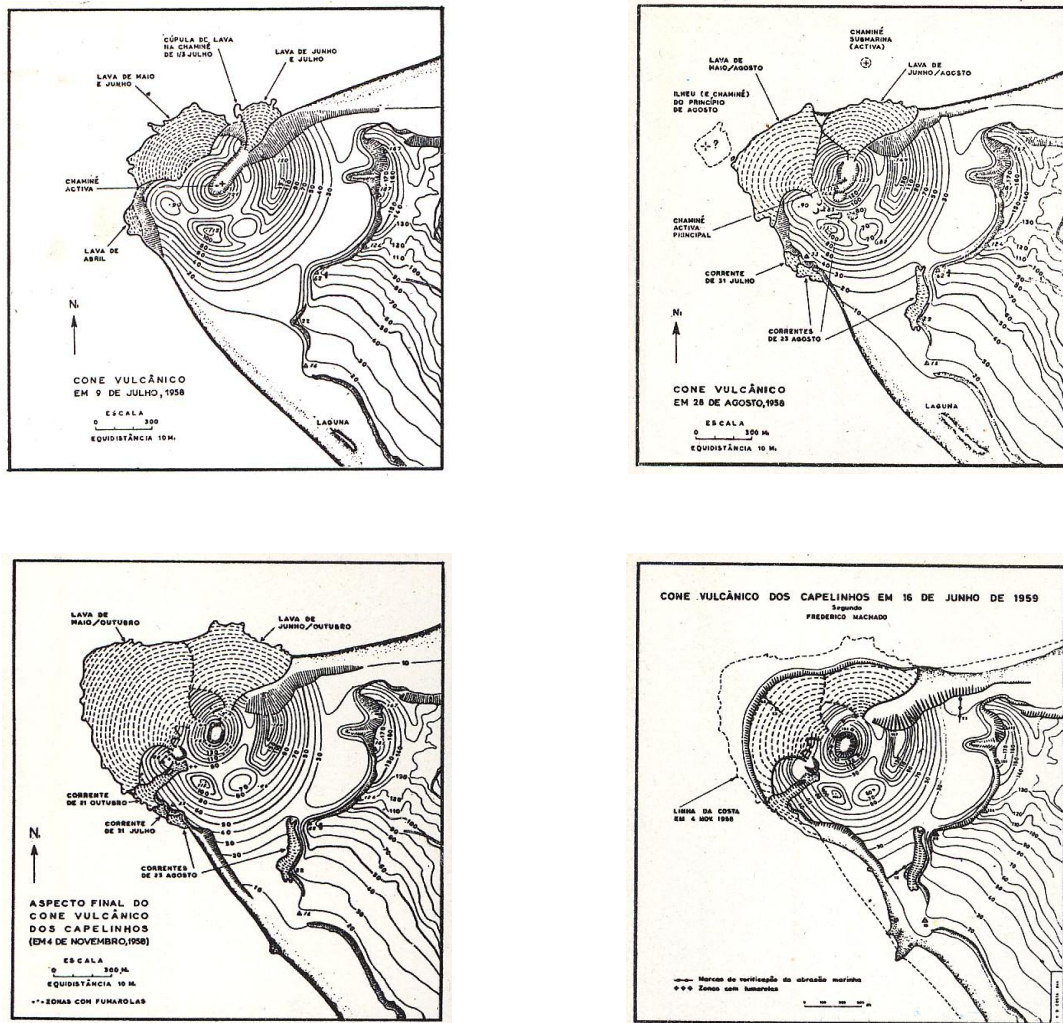


Figura 5. Estado actual de la caldera del volcán Capelinhos, 2006
(Faial, Islas Azores, Portugal)



Figura 6. Endless House, 1947 - 1961
(Friedrich Kiesler, Modelo)

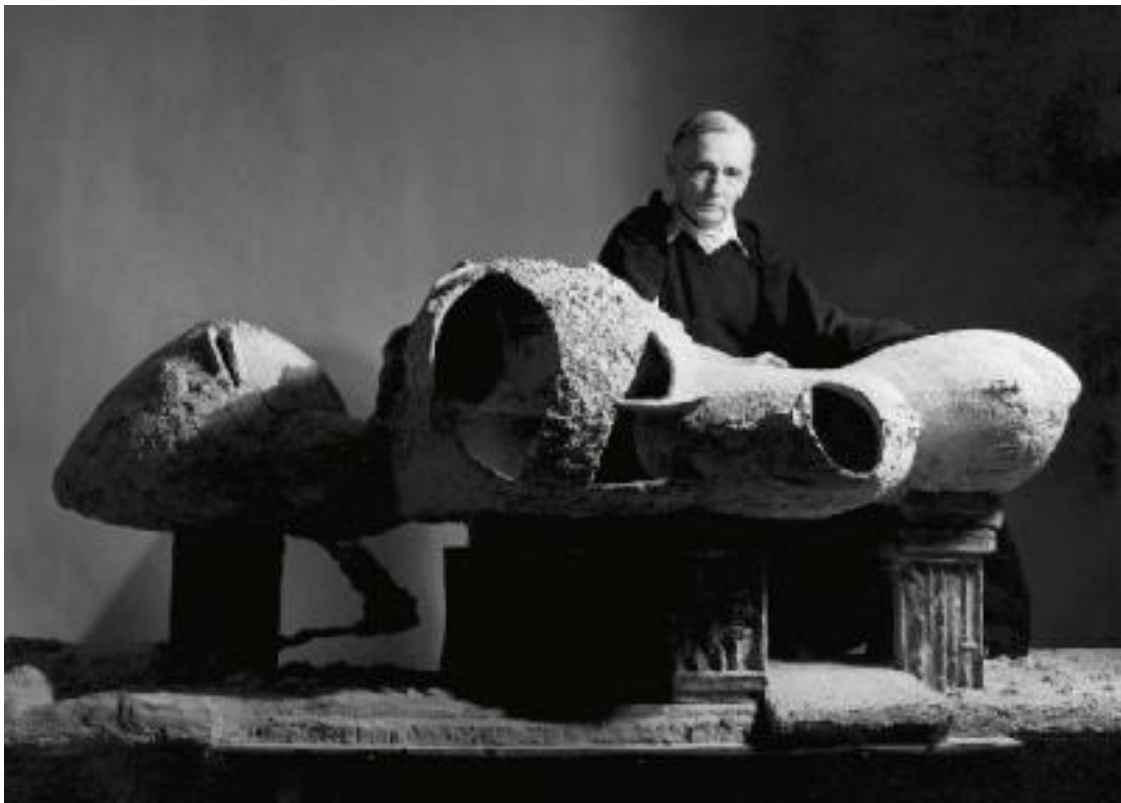


Figura 7. Endless House, 1947 - 1961
(Friedrich Kiesler, Modelo)



Figura 8. Hundertwasserhaus, 1977
(Friedensreich Hundertwasser, Viena, Austria)



Figura 9. Friedensreich Hundertwasser, 1980
(Hundertwasser examina bajo un microscopio las raíces de plantas de pantanos que proporcionan un ambiente óptimo para los microorganismos purificadores de agua, Viena, Austria)

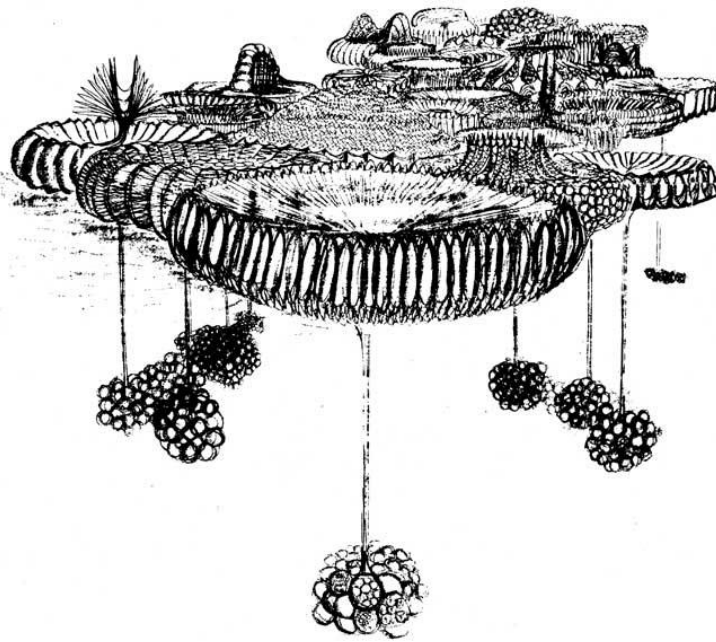


Figura 10. Floating City, 1961
(William Katavolos, dibujo)



Figura 11. Floating City, 1961
(William Katavolos, dibujo)

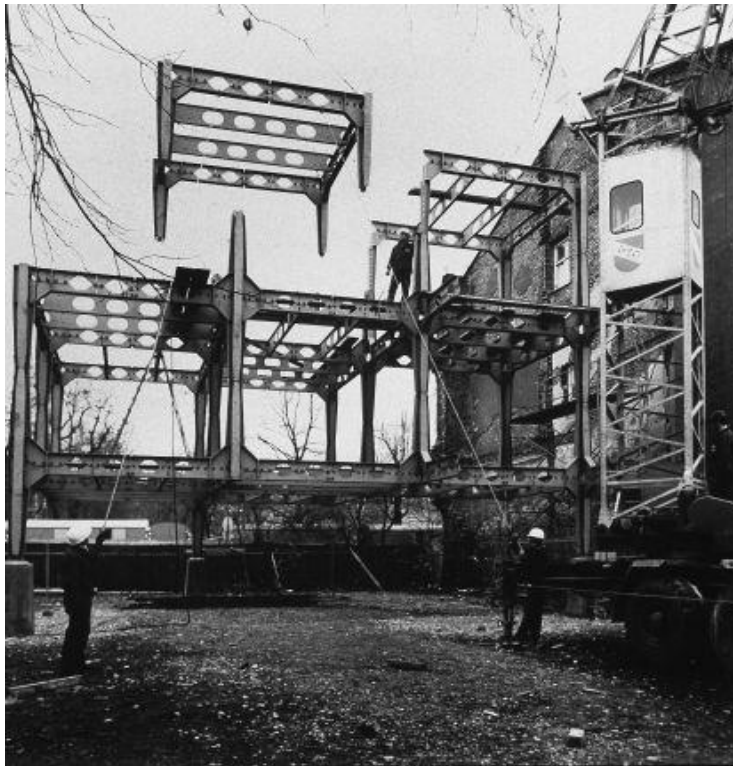


Figura 12. Museo de la Arquitectura de la TU, 1968
(Richard Dietrich, Munich, Alemania)

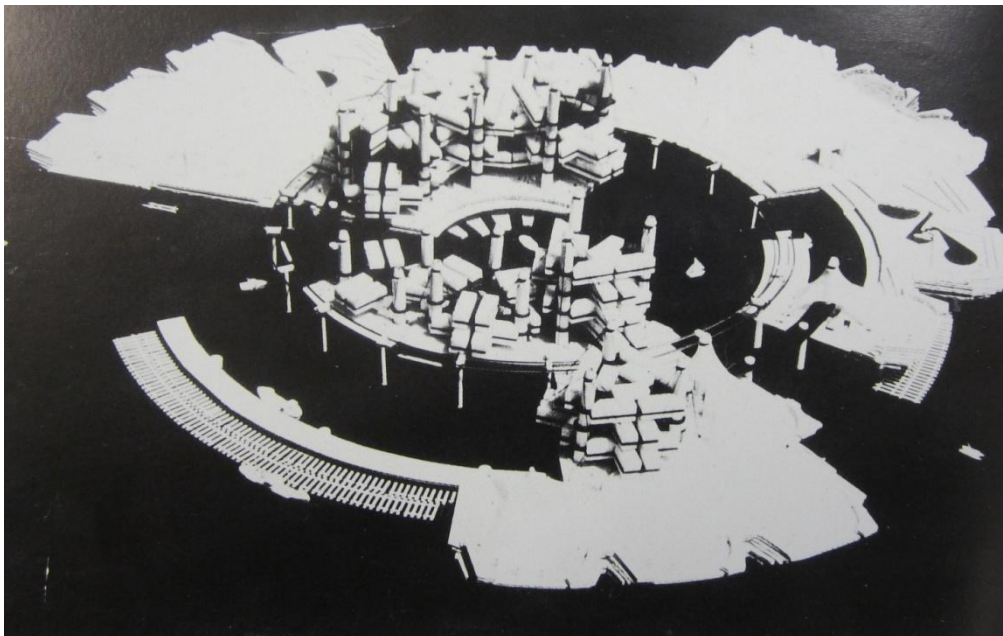


Figura 13. Marine City, 1960
(Kiyonori Kikutake, Maqueta)

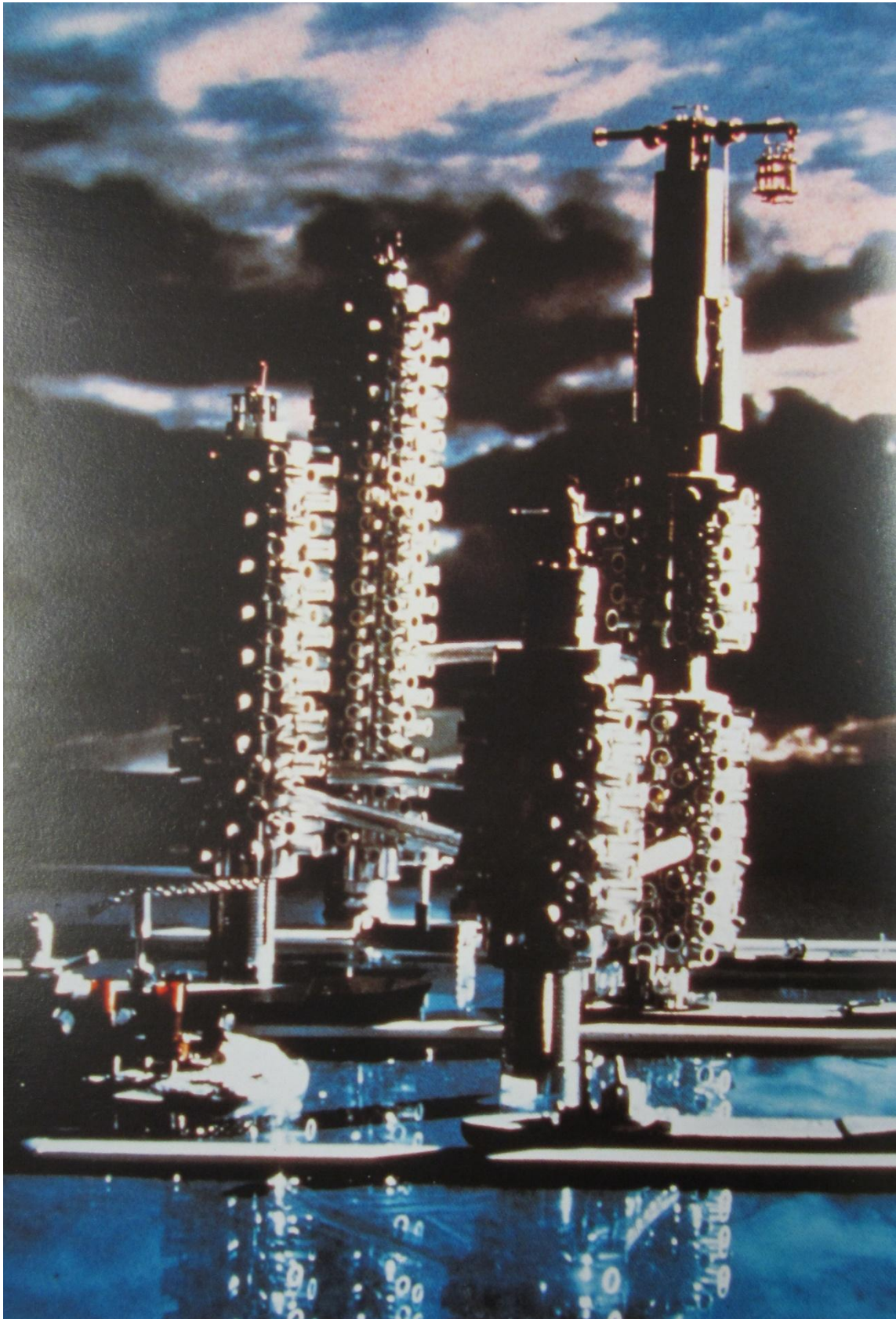


Figura 14. Ocean City, 1968
(Kiyonori Kikutake, Maqueta)

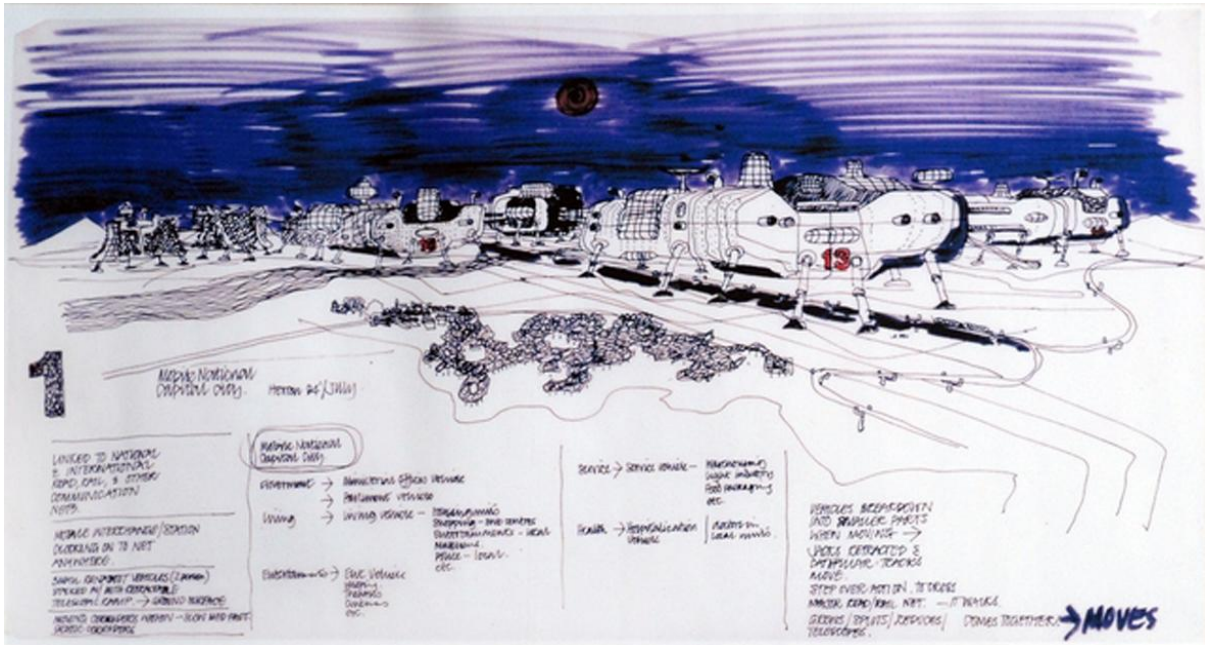


Figura 15. Walking City, Mobile Capital City (Archigram Archives), s. f.
(Ron Herron, *Boceto general de la propuesta*)

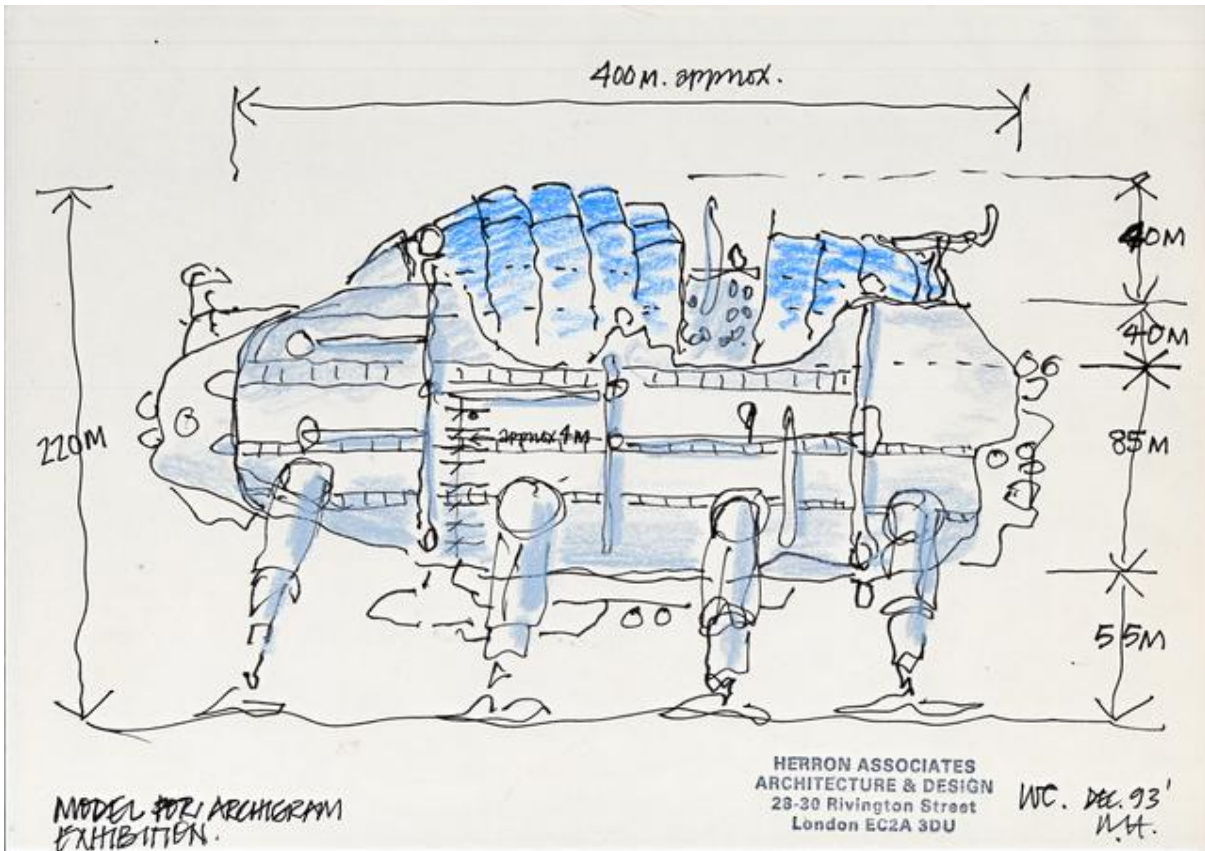


Figura 16. Model for Archigram Exhibition Sketch (Herron Archives), 1993
(Ron Herron, Alzado)



Figura 17. Terra Incógnita / Isla Ociosidad, 2006
(François Roche, *Situación*)



Figura 18. Terra Incógnita / Isla Ociosidad, 2006
(François Roche, *Instalación MAM, París*)



Figura 19. Olzweg, Robot, 2006
(François Roche, proyecto Museo, Orleans, Francia)



Figura 20. Olzweg, Fachada, 2006
(François Roche, proyecto Museo, Orleans, Francia)

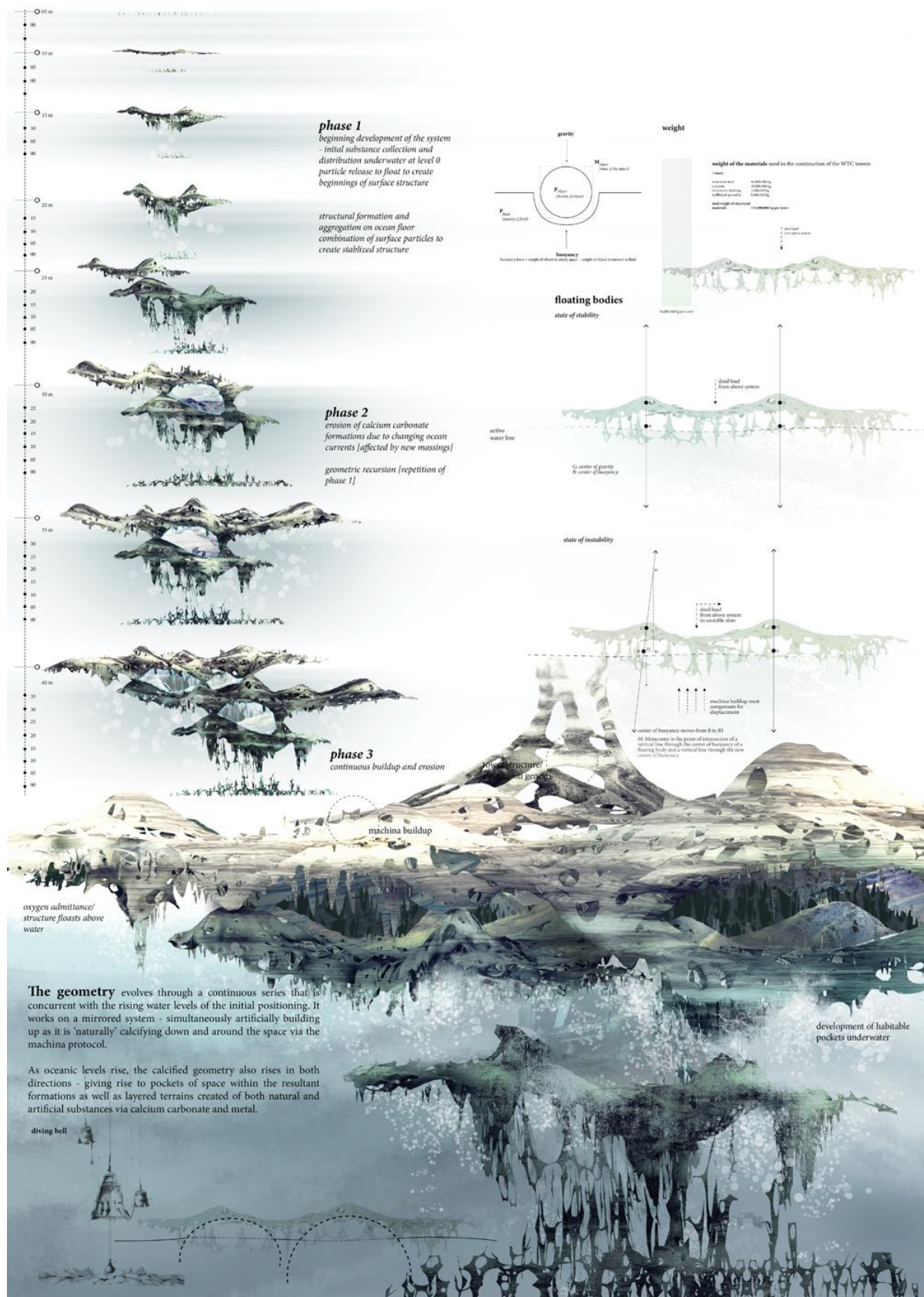


Figura 21. Acqua Alta (2), Máster Proyectos Avanzados, Columbia, EE.UU, 2011
(Mengyi Fan & Joseph Justus, Jury Final)

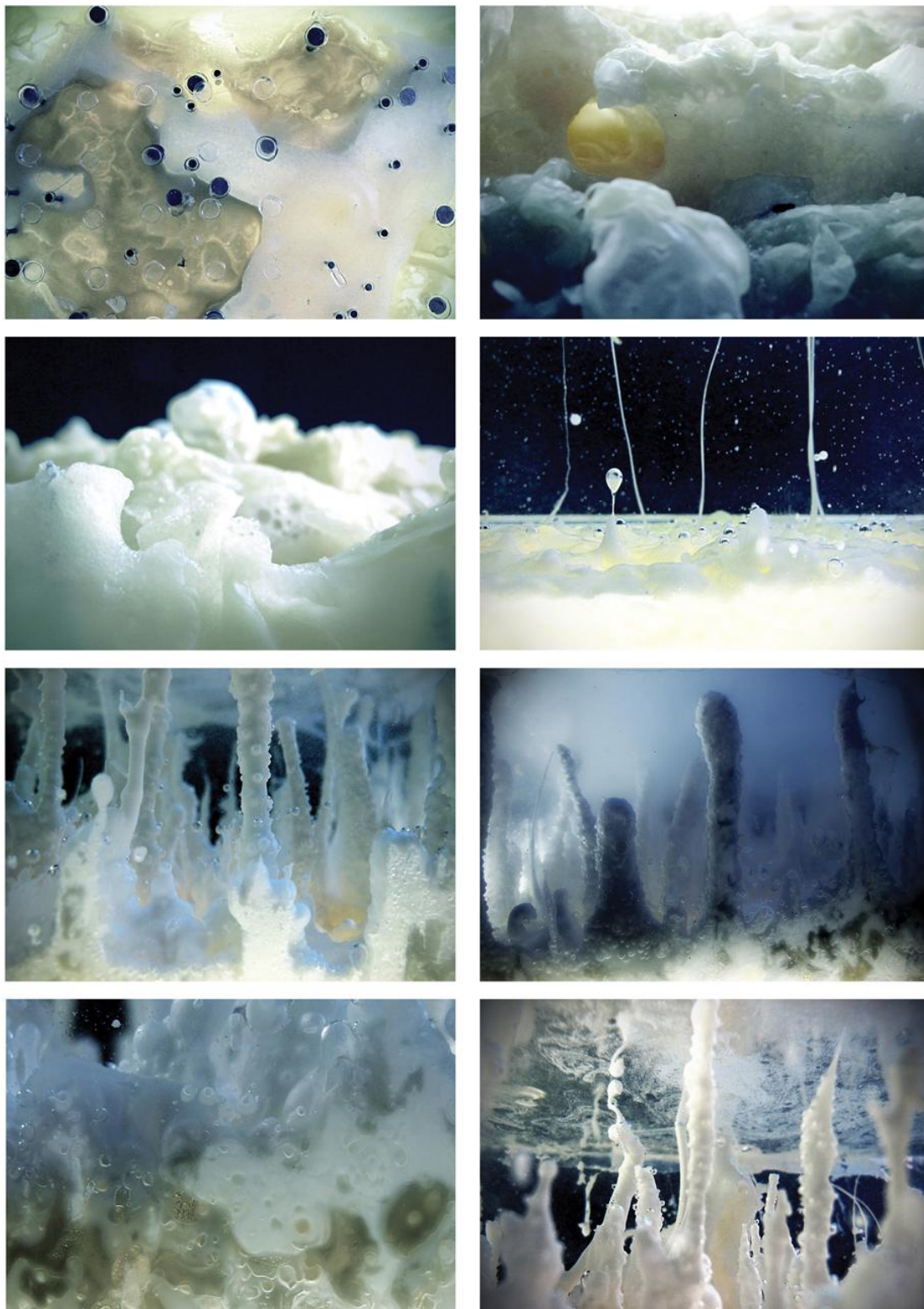


Figura 22. Acqua Alta (2), Máster Proyectos Avanzados, Columbia, EE.UU, 2011
(Mengyi Fan & Joseph Justus, Aproximaciones morfológicas)

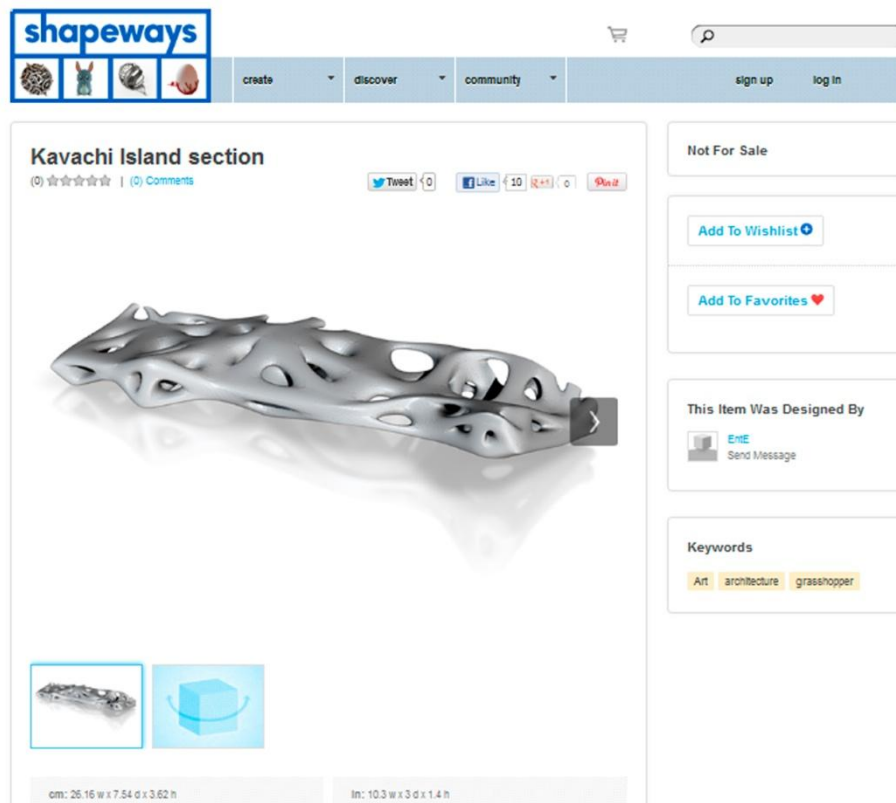


Figura 23. Captura de pantalla del envío del modelo de la isla para su impresión en Holanda, 2012
(Elaboración Propia)

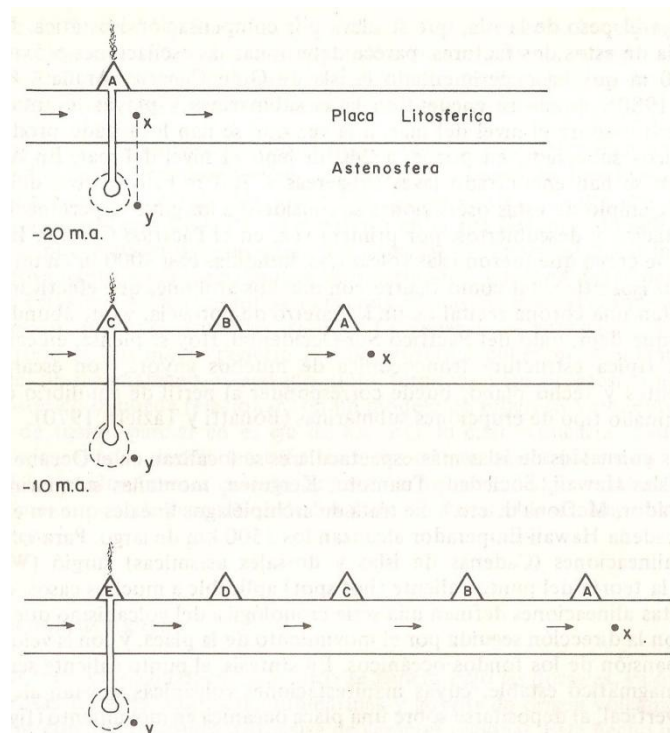


Figura 24. Explicación gráfica del fenómeno del Punto Caliente (*hot spot*)

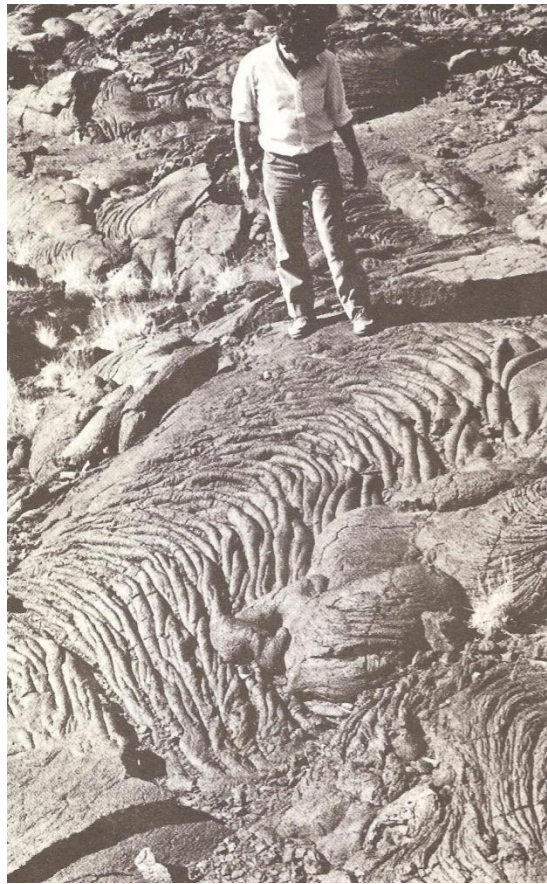


Figura 25. Lavas pahoehoe y cordadas en la isla de El Hierro (Canarias).



Figura 26. Lava (cordadas) en tripas en la Isla de El Hierro (Canarias).

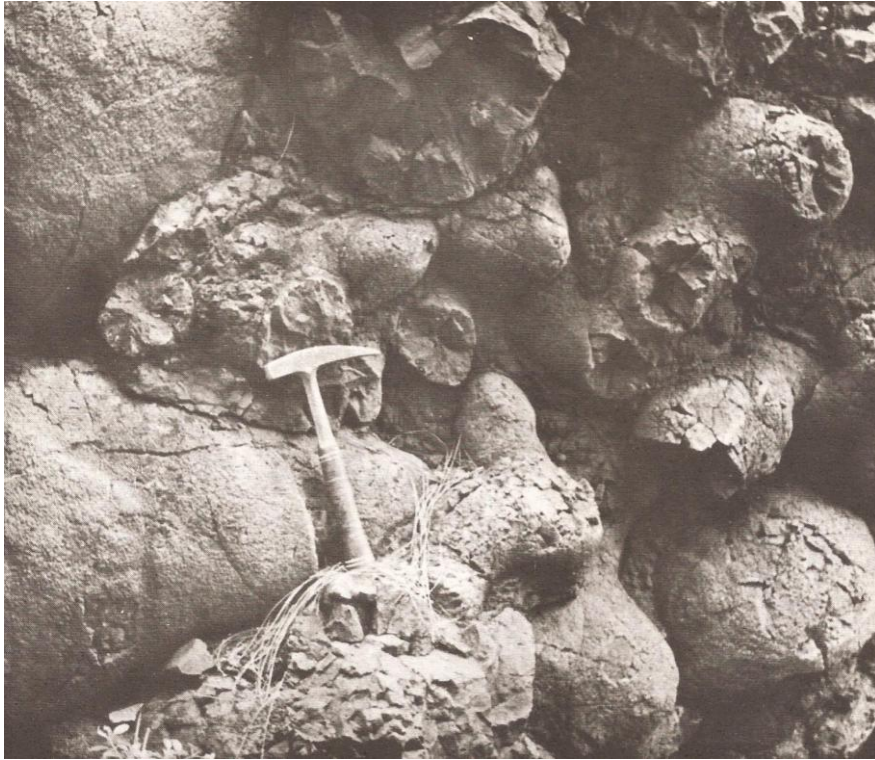


Figura 27. Lavas almohadilladas en la Caldera de Taburiente. La Palma (Canarias).

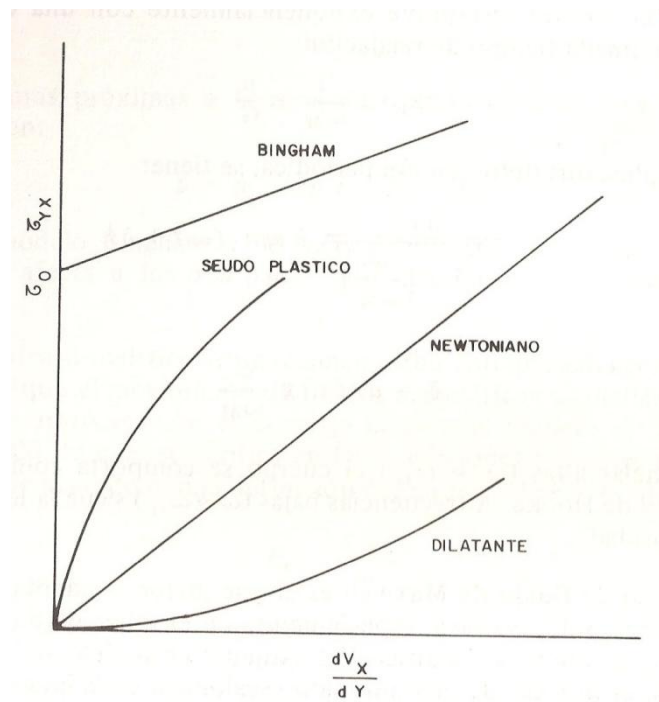


Figura 28. Comportamiento mecánico de los diferentes estados de un fluido.

12_ REFERENCIAS DE IMÁGENES

Figura 1. Consultada el día 18 de Marzo de 2012 en
<http://www.thewildernesslodge.org/images.html#num=9&id=kavachiVolcano>

Figura 2. Consultada el día 18 de Marzo de 2012 en
<http://www.thewildernesslodge.org/images.html#num=16&id=kavachiVolcano>

Figura 3. Consultada el día 19 de Marzo de 2012 en
http://fuegoeterno.files.wordpress.com/2011/10/volcan_capelinhos_tazieff_fig-16.jpg

Figura 4. Consultada el día 16 de Marzo de 2012 en
<http://acontecimientos2012.latin-foro.net/t2602-erupciones-volcanicas-que-originaron-la-formacion-de-islas>

Figura 5. Consultada el día 18 de Marzo de 2012 en
http://www.panoramio.com/photo_explorer#view=photo&position=2&with_photo_id=23562963&order=date_desc&user=3341561

Figura 6. Consultada el día 27 de Junio de 2012 en
<http://www.shootyourstudio.com/?p=240>

Figura 7. Consultada el día 27 de Junio de 2012 en
http://www.openobject.org/cloudfarm/?page_id=569

Figura 8. Consultada el día 27 de Junio de 2012 en
<http://www.hundertwasser.com/gallery/view-227>

Figura 9. Consultada el día 27 de Junio de 2012 en
<http://www.hundertwasser.com/gallery/view-197>

Figura 10. Consultada el día 28 de Junio de 2012 en
<http://arqueologiadelfuturo.blogspot.com.es/2011/05/do-it-yourself-como-opcion-de-futuro.html>

Figura 11. Consultada el día 28 de Junio de 2012 en
http://www.lumen.nu/rekveld/wp/?page_id=522

Figura 12. Consultada el día 4 de Julio de 2012 en <http://tectonicablog.com/wp-content/uploads/2010/04/Richard-J.-Dietrich-Meta-Testbau-Munich-1968-Foto-Museo-de-Arquitectura-de-la-TU-de-Munich-el-inventario-Richard-J.-Dietrich.jpg>

Figura 13. Imagen tomada de (Kikutake, 1997, 130).

Figura 14. Imagen tomada de (Kikutake, 1997, 126).

Figura 15. Consultado el día 8 de Abril en
<http://archigram.westminster.ac.uk/project.php?drwid=331>

Figura 16. Consultado el día 8 de Abril en <http://archigram.westminster.ac.uk/project.php?drwid=2234>

Figura 17. Consultada el día 7 de Marzo de 2012 en <http://www.new-territories.com/terrai2.jpg>

Figura 18. Consultada el día 7 de Marzo de 2012 en <http://www.new-territories.com/terrai20.jpg>

Figura 19. Consultada el día 7 de Marzo de 2012 en <http://www.new-territories.com/images/fracolzweg.jpg>

Figura 20. Consultada el día 7 de Marzo de 2012 en <http://www.new-territories.com/welost3.jpg>

Figura 21. Consultada el día 8 de Marzo de 2012 en http://www.new-territories.com/blog/gsapp2011/wp-content/uploads/2011/11/MJ_present_12-08_A2-7-490x694.jpg

Figura 22. Consultada el día 8 de Marzo de 2012 en http://www.new-territories.com/blog/gsapp2011/wp-content/uploads/2011/11/MJ_present_12-08_A2-4.jpg

Figura 23. Imagen tomada de (Araña y Ortiz, 1984, 94).

Figura 24. Imagen tomada de (Araña y López, 1974, 80).

Figura 25. Imagen tomada de (Araña y López, 1974, 82).

Figura 26. Imagen tomada de (Araña y López, 1974, 99).